

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



TESIS

“Dinámica de los cambios de cobertura y uso del suelo en el territorio del distrito de Huanta, Ayacucho”

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Ingeniero en Gestión Ambiental

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Ciencias del Medio Ambiente

TESISTA

Andy Peralta Flores

ASESOR

Dr. Solón Dante Carhuallanqui Ibarra

HUANTA – PERÚ 2025

NOMBRE DEL TRABAJO

TESIS Dinámica de los cambios de cobertura y uso de suelos.docx

AUTOR

Andy Peralta

RECUENTO DE PALABRAS

28893 Words

RECUENTO DE CARACTERES

159588 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

142 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

21.1MB

FECHA DE ENTREGA

Aug 11, 2025 4:28 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Aug 11, 2025 4:31 PM GMT-5

● 16% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 12% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 10% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

CARHUALLANQUI
IBARRA Solon
Dante FAU
20574653798 soft

Firmado digitalmente
por CARHUALLANQUI
IBARRA Solon Dante
FAU 20574653798 soft
Fecha: 2025.08.26
13:15:55 -05'00'

**DINÁMICA DE LOS CAMBIOS DE COBERTURA Y USO DEL
SUELO EN EL TERRITORIO DEL DISTRITO DE HUANTA,
AYACUCHO**

TESISTA

Bach. Andy Peralta Flores

ASESOR

Dr. Solón Dante Carhuallanqui Ibarra



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA
Creada por Ley N° 29658

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN
GESTIÓN AMBIENTAL**

En ciudad de Huanta, en el auditorio de Estudios Generales de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta, ubicado en el Jr. Miguel Lazón N° 370 – cinco esquinas, a los 05 días del mes de agosto de 2025, siendo las 03:30 horas, se dio inicio al acto académico de sustentación de tesis con la presencia de los miembros del jurado calificador:

Dra. Karina Milagros Ordoñez Ruiz	Presidente
Mtro. Fernando Gari Huayhua Lévano	Miembro titular 2
Dr. Solón Dante Carhuallanqui Ibarra	Miembro titular 3

Acto seguido se procedió a dar lectura de la Resolución de Vicepresidencia Académica N° 050-2025-CO-UNAH, en la que señala fecha, hora y designación de jurado evaluador para la sustentación de tesis del Bach. Andy Peralta Flores, con la tesis titulada: "Dinámica de los cambios de cobertura y uso del suelo en el territorio del distrito de Huanta, Ayacucho.", asesorado por el Dr. Solón Dante Carhuallanqui Ibarra, para optar el Título profesional de: Ingeniero en Gestión Ambiental.

Observaciones:

.....
.....

Terminada la sustentación se procedió a la formulación de preguntas por los miembros del jurado evaluador, los mismos que fueron defendidos y absueltos por el tesisista. Acto seguido se procedió a calificar con el resultado siguiente:

Aprobado Regular	()
Aprobado Bueno	(x)
Aprobado Muy Buenos	()
Aprobado Excelente	()

Con la calificación de buñce (15)

Siendo las 4:23 p.m. se da por finalizada el acto académico de sustentación de tesis pasando a firmar los miembros del jurado evaluador.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

Dra. Karina Milagros Ordoñez Ruiz
DOCENTE ORDINARIO PRINCIPAL

Dra. Karina Milagros Ordoñez Ruiz
PRESIDENTE



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

Mtro. Fernando Gari Huayhua Lévano
DOCENTE ORDINARIO ASOCIADO

Mtro. Fernando Gari Huayhua Lévano
MIEMBRO TITULAR 2

Dr. Solón Dante Carhuallanqui Ibarra
DOCENTE

Dr. Solón Dante Carhuallanqui Ibarra
MIEMBRO TITULAR 3

DEDICATORIA

A mis queridos padres, por ser mi fuente inagotable de apoyo y fortaleza. A ustedes, que me enseñaron con su ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia, dedico este logro como un testimonio de su sacrificio y dedicación. Gracias por creer en mí incluso en los momentos más difíciles y por brindarme las herramientas necesarias para alcanzar mis metas. Esta tesis es, en gran parte, el fruto de su guía y motivación constante.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de esta tesis:

A mi asesor, por su invaluable guía, paciencia y compromiso a lo largo de este proceso. Su experiencia y orientación han sido fundamentales para superar los desafíos que enfrenté durante la investigación.

A la Universidad Nacional Autónoma de Huanta, por brindarme la formación académica para desarrollar esta investigación. Mi gratitud también se extiende a los docentes que, con su dedicación, han contribuido al desarrollo de mi carrera profesional.

A mis padres, quienes han sido mi mayor fuente de motivación y fortaleza. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y por apoyarme en cada etapa de mi vida. Este logro no habría sido posible sin su sacrificio y confianza en mí.

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo analizar la dinámica de los cambios de cobertura y uso del suelo en el distrito de Huanta, durante el período 1986-2024, con una proyección al 2040, utilizando la metodología CORINE Land Cover adaptada para Perú. La investigación es de tipo básica, sigue un nivel descriptivo y un diseño transversal, no establece relaciones causales entre las variables analizadas, sino que se centra en su evolución a lo largo del tiempo. Tanto la población y la muestra está compuesta por todas las coberturas en el distrito de Huanta. Las técnicas principales incluyeron la compilación de imágenes satelitales Landsat con resolución de 30 m y la clasificación supervisada mediante el algoritmo Random Forest, Los instrumentos de recolección está compuesta por los softwares Google Earth Engine y ArcGIS Pro. Los resultados indican que durante el periodo de 1986-2024 se identificaron 10 clases de coberturas: Tejido Urbano, Mosaico de Pastos y Cultivos, Bosques, Pajonal, Arbustos, Afloramiento Rocosos, Tierras Desnudas, Bofedales, Lagos y Agua Artificial. Durante este periodo las coberturas de tejido urbano, pastos y cultivos, bosques y cuerpos de agua artificial, han aumentado su extensión territorial respectivamente en un 291.73%, 85.86 %, 46.57 % y 7.33 % con respecto a su primer año de estudio, Por otro lado las cobertura Pajonal, Arbustos, Tierras desnudas han perdido -18.51 %, -45.70 % y -19.59 % de extensión territorial respecto a su primer año de estudio, experimentado una pérdida progresiva. Asimismo, los análisis espaciales indican que los cambios de cobertura se han concentrado en zonas específicas, principalmente en torno a centros poblados y áreas productivas. Las clases bofedales, afloramientos rocosos lagos y sector amplio de la clase pajonal han mostrado un comportamiento relativamente estable a lo largo del tiempo, con fluctuaciones en su extensión que, en algunos años, disminuyen para luego recuperar su cobertura. Esto sugiere un equilibrio natural dentro de estas categorías. Además, las tendencias observadas sugieren que para el año 2040 se mantendrá la expansión de los usos productivos sobre las coberturas naturales, con un aumento en la urbanización y la actividad agrícola, lo que podría intensificar la presión sobre los recursos naturales del distrito.

Palabras Clave: Cobertura, Uso del Suelo, CORINE Land Cover, Imágenes Satelitales, Random Forest

ABSTRACT

This research aims to analyze the dynamics of land cover and land use changes in the district of Huanta during the period 1986–2024, with a projection to the year 2040, using the CORINE Land Cover methodology adapted for Peru. The study is basic in nature, follows a descriptive level, and employs a cross-sectional design. It does not establish causal relationships between the variables analyzed, but rather focuses on their evolution over time. The population and sample include all land cover types within the district of Huanta. The main techniques included the compilation of Landsat satellite images with 30-meter resolution and supervised classification using the Random Forest algorithm. Data collection was carried out using the software tools Google Earth Engine and ArcGIS Pro. The results indicate that during the 1986–2024 period, ten land cover classes were identified: Urban Fabric, Pasture and Crop Mosaic, Forests, Grassland (Pajonal), Shrubland, Rocky Outcrops, Bare Soils, Bofedales (High-Andean Wetlands), Lakes, and Artificial Water Bodies. During this period, the cover classes of urban fabric, pasture and crops, forests, and artificial water bodies increased in area by 291.73%, 85.86%, 46.57%, and 7.33%, respectively, compared to their extent in the base year. In contrast, the Grassland, Shrubland, and Bare Soils categories decreased by -18.51%, -45.70%, and -19.59%, respectively, showing a progressive loss. Spatial analyses reveal that land cover changes were concentrated in specific areas, mainly around populated centers and productive zones. The classes of bofedales, rocky outcrops, lakes, and a large portion of grasslands showed relatively stable behavior over time, with fluctuations that in some years resulted in temporary reductions followed by recovery, suggesting a natural balance within these categories. Furthermore, observed trends suggest that by 2040, the expansion of productive land uses over natural covers will continue, with increased urbanization and agricultural activity likely intensifying pressure on the district's natural resources.

Keywords: Land cover change, land use, remote sensing, Huanta, CORINE Land Cover, Random Forest, Google Earth Engine.

ÍNDICE

RESUMEN	ixx
ABSTRACT	x
INDICE DE TABLAS.....	xiii
INDICE DE FIGURAS.....	xv
INDICE DE ANEXOS	xviii
INTRODUCCION.....	xviii
I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Descripción del Problema	1
1.2. Formulación del Problema de Investigación.....	2
1.2.1. Interrogante General.....	2
1.2.2. Interrogante Específicos	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Justificación.....	3
1.5. Hipótesis.....	4
1.6. Variables	5
1.6.1. Variable 1: Cobertura	5
1.6.2. Variable 2: Uso del Suelo	5
1.7. Operacionalización de Variables	6
II. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes del problema	7
2.1.1. Internacional.....	7
2.1.2. Nacional	11
2.1.3. Local.....	15
2.2. Bases Teóricas	15

2.2.1. Cobertura.....	15
2.2.2. Uso de suelo	27
2.2.3. Cambios de Cobertura y Uso de Suelo.....	31
2.3. Definición de Términos.....	34
III. METODOLOGIA	35
3.1. Tipo y Nivel de Investigación	35
3.2. Ámbito Temporal y Espacial.....	36
3.3. Población y Muestra.....	38
3.4. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos	39
3.5. Validación y Confiabilidad de los Instrumentos.....	40
3.6. Procedimientos	40
3.7. Análisis de datos.....	49
3.8. Presentación de Datos:	50
3.9. Flujograma Metodológico	51
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1. Resultados	52
4.2. Discusión.....	91
V. CONCLUSIONES	96
VI. RECOMENDACIONES	98
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de variables	6
Tabla 2.	Valoración del coeficiente Kappa	33
Tabla 3.	Ubicación Política	37
Tabla 4.	Ubicación Geográfica UTM.....	37
Tabla 5.	Selección de imágenes satelitales Landsat.....	41
Tabla 6.	Recolección de las imágenes satelitales Landsat	41
Tabla 7.	Combinación de bandas para Landsat 5 (TM)	43
Tabla 8.	Combinación de bandas para Landsat 7 (ETM+)	43
Tabla 9.	Combinación de bandas para Landsat 8 y 9 (OLI)	44
Tabla 10.	Información complementarias para la clasificación.....	45
Tabla 11.	Coberturas identificadas correspondientes al año 1986.....	52
Tabla 12.	Superficie de cobertura correspondiente al año 1986	53
Tabla 13.	Matriz de confusión de 1986.....	55
Tabla 14.	Niveles Corine Land Cover Encontrados en 2001	58
Tabla 15.	Superficie de clases de cobertura de 2001	59
Tabla 16.	Matriz de confusión de 2001	61
Tabla 17.	Niveles Corine Land Cover Encontrados en 2016.....	64
Tabla 18.	Superficie de clases de cobertura de 2016	65
Tabla 19.	Matriz de confusión de 2016.....	67
Tabla 20.	Niveles Corine Land Cover Encontrados en 2024.....	70
Tabla 21.	Superficie de clases de cobertura de 2024	71
Tabla 22.	Matriz de confusión de 2024.....	73
Tabla 23.	Cambios de cobertura y uso de suelo del año 1986 - 2024..	76
Tabla 24.	Matriz de tabulación cruzada para el periodo 1986 a 2001 .	80
Tabla 25.	Matriz de tabulación cruzada para el periodo 2001 a 2016 .	82
Tabla 26.	Matriz de tabulación cruzada para el periodo 2016 a 2024 .	84

Tabla 27.	Niveles Corine Land Cover Encontrados en 2040.....	85
Tabla 28.	Superficie de clases de cobertura de 2040	86
Tabla 29.	Matriz de tabulación cruzada para el periodo 2024 a 2040 .	90

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Espectro Electromagnético	17
Figura 2.	Firmas espectrales	18
Figura 3.	Número y Anchura de las Bandas Espectrales.....	19
Figura 4.	Componentes de un Sistema de Información Geográfico...	24
Figura 5.	Modelo Vectorial y Ráster.....	25
Figura 6.	Propuesta de Leyenda de Cobertura de la tierra – Perú	29
Figura 7.	Mapa de Ubicación del Distrito de Huanta	38
Figura 8.	NDVI de los años 1986 y 2001	46
Figura 9.	NDVI de los años 2016 y 2024.....	46
Figura 10.	Segmentación del distrito de Huanta	47
Figura 11.	Superficie porcentual de coberturas del año 1986	54
Figura 12.	.Mapa de Clasificación Supervisada de 1986	57
Figura 13.	Histograma de superficie (%) de coberturas de 2001	60
Figura 14.	Mapa de Clasificación Supervisada de 2001	63
Figura 15.	Histograma de superficie (%) de coberturas de 2016	66
Figura 16.	Mapa de Clasificación Supervisada de 2016	69
Figura 17.	Histograma de superficie (%) de coberturas de 2024	72
Figura 18.	Mapa de Clasificación Supervisada de 2024	75
Figura 19.	Cambios de cobertura y uso de suelo (1986-2024).....	76
Figura 20.	Dinámica de los cambios de cobertura y uso de suelo de 1986 a 2001	79
Figura 21.	Dinámica de los cambios de cobertura y uso de suelo de 2001 a 2016.....	81
Figura 22.	Dinámica de los cambios de cobertura y uso de suelo de 2016 a 2024.....	83
Figura 23.	Histograma de superficie (%) de coberturas de 2040	87
Figura 24.	Mapa de clasificación del 2040.....	88

Figura 25.	Dinámica de los cambios de cobertura y uso de suelo de 2024 a 2040.....	89
Figura 26.	Cobertura de Tejido Urbano (TU).....	115
Figura 27.	Cobertura de Pastos y Cultivos (PC).....	116
Figura 28.	Cobertura de clase Bosque (BO).....	117
Figura 29.	Cobertura de clase Pajonal (PA)	118
Figura 30.	Cobertura de clase Arbustal (AR).....	119
Figura 31.	Cobertura de clase Afloramiento Rocosos (RO).....	120
Figura 32.	Cobertura de clase Tierras Desnudas (TD)	121
Figura 33.	Cobertura de clase Bofedal (BF).....	122
Figura 34.	Cobertura de clase Lago (LA).....	123

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Matriz de Consistencia.....	111
Anexo 2.	Coordenadas de puntos de validación para el 2024	112
Anexo 3.	Panel fotográfico de la validación in situ del mapa de cobertura y uso de suelo 2024.....	115
Anexo 4.	Codigo JavaScript utilizado en la plataforma Google Earth Engine.....	124
Anexo 5.	Procesamiento de imágenes satelitales en el Software ArcGispro.....	125

INTRODUCCION

El estudio de la dinámica de los cambios de cobertura y uso del suelo es fundamental para comprender las transformaciones espaciales y temporales de un territorio, especialmente si están sujetos a factores socioeconómicos y ambientales (Molo & Cardozo, 2021). La expansión de las actividades humanas, la presión sobre los ecosistemas naturales y los cambios en la distribución de la tierra han sido objeto de análisis en múltiples investigaciones a nivel global y regional (García et al., 2024; Barredo et al., 2022). En el caso del Perú, la conversión del territorio responde a factores como el crecimiento poblacional, la expansión agrícola y la urbanización, lo que ha generado modificaciones significativas en la estructura del paisaje (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2023).

En este contexto, la presente investigación se centra en el distrito de Huanta, ubicado en la región de Ayacucho, un territorio caracterizado por una diversidad de coberturas naturales y una creciente actividad productiva. A través de la metodología CORINE Land Cover adaptada para Perú y mediante la integración de técnicas de teledetección y procesamiento de imágenes satelitales, se por objetivo general analiza la dinámica de los cambios de cobertura y el uso del suelo durante los años 1986, 2001, 2016 y 2024, y proyecta las tendencias hasta el año 2040.

El estudio sigue un enfoque descriptivo, sin establecer relaciones causales entre las variables analizadas. La importancia de esta investigación radica en proporcionar información detallada sobre las transformaciones del paisaje, lo que resulta clave para la gestión territorial, la planificación ambiental y la formulación de políticas públicas orientadas al desarrollo sostenible.

Los resultados obtenidos no solo permiten comprender las dinámicas territoriales, sino que también sirven como una línea base para generar la implementación de políticas de ordenamiento territorial y desarrollar normativas que limiten la expansión no planificada de la frontera agrícola y urbana, protegiendo ecosistemas vulnerables.

En términos estructurales, el trabajo se organiza de la siguiente manera:

Capítulo I: Problema de investigación – Se expone la problemática de la investigación, junto con los objetivos y la justificación del estudio.

Capítulo II: Marco teórico – Se presentan los antecedentes, bases teóricas y el sustento metodológico que respalda la investigación.

Capítulo III: Metodología – Se describen los procedimientos, herramientas y técnicas utilizadas para el análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo.

Capítulo IV: Resultados y discusión – Se detallan los hallazgos obtenidos, su interpretación y las tendencias observadas a lo largo del periodo de estudio.

Capítulo V: Conclusiones – Se presentan las principales conclusiones derivadas del análisis realizado.

Capítulo VI: Recomendaciones – Se sugieren acciones y estrategias basadas en los resultados del estudio.

Capítulo VII: Referencias bibliográficas – Se incluyen las fuentes utilizadas en la investigación.

I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del Problema

Los cambios de cobertura son fenómenos globales que se han acelerado notablemente en las últimas décadas. El crecimiento de la población humana y las actividades económicas han llevado a una transformación masiva de coberturas naturales. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (FAO & PNUMA, 2020) aproximadamente se pierden 13 millones de hectáreas de bosques cada año debido a la expansión agrícola. La urbanización también es un fenómeno que está estrechamente relacionado con la pérdida de coberturas ya que en muchas ciudades del globo no se tiene una adecuada planificación y gestión territorial.

América latina es una región de gran importancia ecológica debido a su alta biodiversidad y la presencia de vastos ecosistemas naturales, que abarca varios países como Brasil, Perú, Colombia y Bolivia. La región alberga el bosque tropical más grande del mundo, vital para la regulación del clima global y la biodiversidad. Sin embargo, esta riqueza natural está bajo amenaza constante debido a la disminución de sus coberturas naturales. La expansión de la agricultura, la ganadería y la infraestructura está provocando una rápida pérdida de bosques. Se estima que la región ha perdido alrededor del 20% de su cobertura forestal en las últimas décadas (Sierra, 2024).

En el Perú, esta dinámica del cambio de cobertura y uso del suelo son problemas críticos, especialmente en las regiones amazónicas y andinas. La Amazonia peruana es una de las áreas más biodiversas del planeta, pero está bajo amenaza constante debido a la deforestación. La deforestación en Perú es impulsada principalmente por la expansión agrícola, la tala ilegal, la minería y la urbanización. Según el (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2023), el Perú pierde un promedio de 132 122 hectáreas de bosques cada año. Esta pérdida tiene graves consecuencias para la biodiversidad, el clima y las comunidades locales que dependen de los bosques. En los andes y otras regiones montañosas, la presión sobre los recursos naturales también es alta. La agricultura intensiva, la ganadería extensiva han

llevado a la conversión de coberturas naturales en otros tipos de uso de suelo (Reyes et al, 2022).

En el caso del distrito de Huanta, Ayacucho, estas transformaciones territoriales han sido evidentes a lo largo de las últimas décadas. La expansión agrícola y urbana, junto con otros procesos de ocupación del territorio, han modificado progresivamente las coberturas naturales, alterando la estructura del paisaje. Sin embargo, estos cambios de cobertura no solo representan modificaciones en la superficie terrestre, sino que también reflejan dinámicas asociadas al uso del suelo. El distrito de Huanta no cuenta con estudios detallados que expliquen cómo estas dinámicas han evolucionado a lo largo del tiempo ni cuáles son las tendencias proyectadas hacia el futuro.

Ante esta situación, es fundamental analizar la dinámica de los cambios de cobertura y el uso del suelo en Huanta en un periodo determinado, pero no solo para caracterizar su evolución histórica, sino también para proyectar un escenario futuro.

1.2. Formulación del Problema de Investigación

1.2.1. Interrogante General

¿Cuál es la dinámica de los cambios de cobertura y el uso del suelo en el distrito de Huanta durante el periodo de 1986 a 2040?

1.2.2. Interrogante Específicos

- ¿Cuál es la distribución espacial y temporal de las coberturas y los tipos de uso del suelo en los años 1986, 2001, 2016 y 2024?
- ¿Qué tendencias tendrán los cambios de cobertura y patrones de cambio de uso del suelo en el distrito de Huanta?
- ¿Cuál es la proyección de la distribución espacial y temporal de las coberturas y los tipos de uso del suelo para el año 2040?
- ¿Cuáles son las tendencias que tendrán los cambios de cobertura y patrones de cambio de uso del suelo en el distrito de Huanta para el año 2040?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Analizar la dinámica de los cambios de cobertura y uso del suelo en el distrito de Huanta, durante el periodo de 1986 - 2024 identificando sus tendencias de cambio y proyectando posibles escenarios al año 2040.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Caracterizar la distribución espacial y temporal de las clases de coberturas y los tipos de uso del suelo, en los años 1986, 2001, 2016 y 2024.
- b) Identificar las tendencias de cambios cobertura y patrones de cambio del uso del suelo.
- c) Proyectar con cadenas de Márkov la distribución espacial y temporal de las clases de coberturas y los tipos de usos del suelo para el año 2040.
- d) Proyectar las posibles tendencias de cambios de cobertura y patrones de cambio del uso del suelo para el año 2040.

1.4. Justificación

Desde la perspectiva teórica, la investigación se orienta a la contribución del conocimiento científico sobre la dinámica de la cobertura y el uso del suelo. Al aplicar la metodología CORINE Land Cover adaptada para Perú, se aporta para un mejor entendimiento del enfoque sistemático y estandarizado para el análisis de cambios en la cobertura y el uso del suelo. También permite la incorporación de datos locales específicos, enriqueciendo así el cuerpo de conocimiento existente y permitiendo una comprensión más profunda de los procesos ecológicos y antropogénicos en el distrito de Huanta.

A nivel práctico, los resultados de esta investigación pueden tener aplicaciones directas en la gestión y planificación territorial. La identificación de las áreas más afectadas por la pérdida de cobertura y los cambios de uso del suelo, constituirá una fuente importante de carácter académico científico para la toma de decisiones de parte autoridades locales y regionales, que orienten el diseño y la implementación de estrategias de mitigación más efectivas. Además, la investigación servirá como base sólida de conocimientos para plantear proyectos de restauración ecológica y reforestación, mejorando así la resiliencia de los ecosistemas locales.

Desde un punto de vista ambiental, esta investigación es vital para la conservación de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático. La pérdida de cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo tienen efectos devastadores en los ecosistemas, llevando a la fragmentación de hábitats y la disminución de la biodiversidad. La presente investigación proporciona datos esenciales para entender estos impactos y desarrollar estrategias de conservación más efectivas.

Desde un punto de vista socialmente, la investigación aborda los impactos de la pérdida de cobertura y los cambios de uso del suelo en las comunidades locales. Las comunidades rurales dependen en gran medida de los recursos naturales para su subsistencia y bienestar. La degradación de estos recursos puede tener consecuencias directas en la seguridad alimentaria, el acceso al agua y la calidad de vida.

A nivel investigativo, la investigación llena un vacío crítico en el conocimiento sobre la dinámica de la cobertura y el uso del suelo en el distrito de Huanta. Al generar datos y análisis específicos para esta región, se sientan las bases para futuras investigaciones que puedan explorar aspectos relacionados, como los impactos a largo plazo de la degradación del suelo, la efectividad de las intervenciones de restauración y las interacciones entre los cambios de uso del suelo y el cambio climático. Además, la investigación fomenta la colaboración interdisciplinaria, integrando conocimientos de ecología, geografía, economía y ciencias sociales.

1.5. Hipótesis

Según Supo (2024) menciona que “Una hipótesis es una proposición, y en la lógica proposicional, la hipótesis es un enunciado factible de ser calificado como verdadero o falso” (p.34). En tal sentido, la presente investigación no formula hipótesis, ya que su enfoque es de carácter descriptivo y no proposicional. Si bien se analizan dos variables “cobertura” y “uso del suelo” estas se estudian de manera integral bajo la metodología CORINE Land Cover, pero sin establecer relaciones causales o correlacionales entre ellas.

1.6. Variables

Si bien se analizan dos variables, "cobertura" y "uso del suelo", estas se estudian de manera integral bajo la metodología CORINE Land Cover, sin establecer relaciones causales o correlacionales entre ellas. El objetivo del estudio es caracterizar y analizar la evolución de ambas variables a lo largo del tiempo (1986-2024), identificando patrones de transformación y tendencias, sin la necesidad de formular supuestos que impliquen vínculos estadísticos entre ellas.

1.6.1. Variable 1: Cobertura

La “cobertura” se refiere a las características físicas como biológicas, visibles y distribuidos espacialmente en la superficie terrestre, que pueden clasificarse en distintas clases de cobertura. Estas clases permanecen o cambian a lo largo del tiempo, ya sea por procesos naturales o por intervenciones humanas (FAO, 2023)

1.6.2. Variable 2: Uso del Suelo

El “uso del suelo” se define como la forma en que el ser humano y los procesos naturales interactúan y modifican la extensión de la superficie terrestre. Abarca las prácticas humanas, como la agricultura, la urbanización y la ganadería, que transforman el territorio para satisfacer necesidades sociales y económicas, así como las dinámicas naturales que configuran los ecosistemas, como la regeneración de vegetación, la erosión y la hidrología (EEA, 1992)

1.7. Operacionalización de Variables

Tabla 1.

Operacionalización de variables

Variables		Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador
Variable 1	Cobertura	La “cobertura” se refiere a las características físicas como biológicas, visibles y distribuidos espacialmente en la superficie terrestre, que pueden clasificarse en distintas clases de cobertura. Estas clases permanecen o cambian a lo largo del tiempo, ya sea por procesos naturales o por intervenciones humanas (FAO, 2023)	La variable cobertura fue mensurado a través de los instrumentos informáticos como son el Google Earth Engine y ArcGisPro; con los cuales se obtuvieron y procesaron imágenes satelitales para evidenciar la dinámica de los cambios de cobertura a través del tiempo.	Distribución espacial y temporal de la cobertura	Ubicación y extensión de cada cobertura en los años de estudio (1986, 2001, 2016, 2024). <ul style="list-style-type: none"> Áreas artificiales (núm./año) Áreas agrícolas (núm./año) Áreas forestales (núm./año) Áreas húmedas (núm./año) Cuerpos de agua (núm./año)
				Tendencias de cambio	Transformaciones en la cobertura y proyección al 2040.
Variable 2	Uso de suelo	El “uso del suelo” se define como la forma en que el ser humano y los procesos naturales interactúan y modifican la extensión de la superficie terrestre. Abarca las practicas humanas, como la agricultura, la urbanización y la ganadería, que transforman el territorio para satisfacer necesidades sociales y económicas, así como las dinámicas naturales que configuran los ecosistemas, como la regeneración de vegetación, la erosión y la hidrología (EEA, 1992)	La variable cobertura fue mensurado a través de los instrumentos informáticos como son el Google Earth Engine y ArcgisPro; con los cuales se obtuvieron y procesaron imágenes satelitales para evidenciar la dinámica de los cambios de cobertura a través del tiempo.	Tipología del uso de suelo	Categorización del uso del suelo según CORINE Land Cover. <ul style="list-style-type: none"> Uso de suelo artificiales Uso de suelo agrícolas Uso de suelo forestales Uso de suelo de áreas húmedas Uso de suelos para Cuerpos de agua
				Patrones de cambio	Transformaciones en los usos del suelo a lo largo del tiempo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Internacional

Friedel, Duval y Benedetti (2022). En su artículo “Cobertura y uso del suelo en el sureste de la provincia de La Pampa (Argentina) durante el período 1987-2020”. Tuvo como objetivo analizar los cambios en la cobertura vegetal y usos del suelo. Utilizando imágenes satelitales LANDSAT y el software QGIS, se llevó a cabo una clasificación supervisada para generar mapas de CUS, estableciendo 6 categorías para su análisis. Los resultados muestran una disminución del bosque de caldén en sus formas abiertas y cerradas, así como un aumento en las áreas destinadas a actividades agropecuarias. Sin embargo, también se observan zonas donde el bosque ha comenzado a recuperarse.

Morales, et al. (2022). En su artículo titulado “Mapa de cobertura y usos del suelo urbano de la ciudad de Córdoba, utilizando datos geográficos e IDE en un modelo de clasificación Random Forest”, Córdoba, Argentina. Tuvo como objetivo identificar la cobertura de la tierra, clasificando los tipos de uso de suelo. Como instrumentos para la clasificación del CUS, utilizó datos geográficos disponibles en forma local y global y software GIS. Metodológicamente utilizó procesos de clasificación supervisada y el algoritmo de clasificación Random Forest. Como resultado obtuvo la clasificación de once categorías entre urbanización y áreas de transición. El autor considero estos resultados como base en la elaboración de planes de gestión territorial.

Cruz, Téllez y Carrillo (2021). En su artículo titulado “Análisis de cambios en las coberturas y usos de suelo de la cuenca del río Cuale, Jalisco, México”. El objetivo de la investigación fue estimar los cambios producidos en las diferentes clases de uso del suelo de la cuenca río Cuale. Los instrumentos que utilizó para su investigación fueron imágenes satelitales Landsat y el software ArcGIS, se generaron mapas temáticos con cuatro clases de cobertura, y se identificaron procesos de cambio en áreas destinadas a actividades agrícolas. Como resultado, se encontró una tasa de cambio del 0,99% para el bosque templado de coníferas y latifoliadas, y del 1,02% para el

bosque tropical subcaducifolio, mientras que las zonas agrícolas mostraron un 1,08%, en relación con la superficie total de la cuenca. Las zonas urbanas no presentaron cambios durante el período analizado, lo cual se atribuye a las condiciones topográficas de la cuenca del río Cuale

Cobos, Luna, Barrezueta y Jaramillo (2021). En su artículo titulado “Análisis multitemporal de cambios de cobertura y uso del suelo: cuenca del río Jubones, Ecuador”. El objetivo de su investigación fue analizar los cambios cobertura y el uso del suelo en la cuenca río Jubones. Como instrumento utilizaron las imágenes Landsat 5 para el año 1991 y Landsat 8 para el 2016. Halló 5 clases de nivel 1 con la clasificación supervisada. El análisis CUS y los mapas temáticos fueron comparados en función de las tasas de cambio por categorías de cobertura. Como resultado registraron que las tierras agropecuarias (TA) (0,76%) y arbustiva; y herbácea (AH) (0,62%) tuvieron un aumento; y una disminución en bosques (BO) (-2,05%) y otras tierras (OT) (-1.79%). Durante el periodo de 25 años, estos cambios pueden ser atribuidos a la intensa intervención humana sobre los recursos de la zona.

Nájera, et al. (2021). En su artículo titulado “Cambio de cobertura y uso del suelo en llanura costera asociados a procesos antropogénicos: caso San Blas, Nayarit”, México. Tuvo como objetivo evaluar el cambio de cobertura y uso del suelo de San Blas, Nayarit, con una temporalidad de 2000, 2019 y 2038. En la metodología utilizaron una clasificación supervisada de imágenes Landsat, para proyectar la tendencia al 2038 utilizó cadenas de Márkov en un SIG. Como resultado, obtuvo que aumentaron un 4.3% las áreas dedicadas a la agricultura, lo que desplazó zonas inundables y posiblemente afectó el sistema hídrico, reduciendo la cobertura de manglar en un 4.7%. Concluyendo así que esta tendencia seguirá con menor intensidad para el año 2038. El autor concluye que sus resultados sirvan como referencia para futuras decisiones la gestión territorial.

Escobar y Castillo (2021). En su artículo titulado “Cambios en la cobertura y uso del suelo en la región del Soconusco, Chiapas”, México. Tuvo como objetivo analizar las trayectorias de 25 años del cambio en la cobertura y usos del suelo en tres cuencas. Utilizo imágenes satelitales de 1990, 2000 y

2015. Como instrumento utilizaron imágenes satelitales Landsat y un software de Sistema de Información Geográfica. Donde realizó la clasificación supervisada de cobertura y uso del suelo. Los resultados mostraron una significativa pérdida de vegetación primaria como los (bosques, manglares) y una pérdida de vegetación secundaria, también se consideró los asentamiento humanos que aumentaron considerablemente. Las áreas dedicadas a los cultivos se han permanecido sin transformaciones. Concluye que la intensidad de la agricultura y la urbanización responden a un patrón de cambios en la cobertura de suelo.

Leija, Pavón, Sánchez y Ángeles (2021). En su artículo titulado “Dinámica espacio-temporal de uso, cambio de uso y cobertura de suelo en la región centro de la Sierra Madre Oriental: implicaciones para una estrategia REDD+ (Reducción de Emisiones por la Deforestación y Degradación)”. Tuvo como objetivo analizar la dinámica de cambio en la cobertura y uso del suelo en la Sierra Madre Oriental, Huasteca. En su metodología obtuvo imágenes satelitales de (1986, 1990 y 2000). Posteriormente calcularon las tasas de deforestación con métodos que la FAO y INFyS con sede en CONAFOR han propuesto, para la implementación de futuras estrategias REDD. Los resultados obtenidos de las tasas de deforestación anual en la región de la Huasteca oscilan entre el 0,7% y el 4,5%, en bosques mesofílicos y que entre el 1,3% y el 1,5% áreas transformadas en áreas agropecuarias. El contenido de carbono estimado de estos dos fragmentos de bosque es de 13,539.84 toneladas de carbono por hectárea en el municipio de Tlanchinol y 4,363.02 toneladas de carbono por hectárea en el municipio de San Bartolo. Concluyendo que la REDD tendrá el potencial de prevenir una mayor deforestación en las áreas de la Huasteca y de bosques mesofílicos de la región central oriental de la Sierra Madre.

Leija, et al. (2020). En el artículo titulado “Análisis de cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo en la región centro-norte de México. El caso de la cuenca baja del río Nazas”, municipios de Lerdo y Cuencamé, México. El objetivo que tuvo esta investigación fue evaluar los cambios en las coberturas naturales y usos del suelo de la cuenca baja del Río Nazas durante una temporalidad de 1990-2016. La muestra fue comprendida por toda la

superficie del Parque Estatal Cañón de Fernández una superficie total de 24936,6 ha. El instrumento que utilizado fue la observación de imágenes satelitales de Landsat TM y también ETM, para elaborar base de datos tanto de la cobertura vegetal y uso del suelo del área de estudio. Los resultados indican que para el 2016 las coberturas estaban representadas en su mayoría por la clase matorral xerófilo y los bosques de galería. El autor concluyó que en un periodo de 26 años se deforestó un 32,1% de las coberturas naturales.

Salamanca (2020). En su tesis “Análisis multitemporal de las coberturas del uso del suelo en la microcuenca río blanco de San José, municipio de Mogotes, Santander”. El objetivo de esta investigación fue comparar las coberturas en un lapso de tiempo de los años 1987 – 2020. Como instrumento utilizaron las imágenes del satélite Landsat 4 y 5 con el Sentinel 2 y el software QGIS. El análisis espacial fue procesado mediante una clasificación supervisada para obtener la cobertura determinada por el método Corine Land Cover adaptado para Colombia mediante el IDEAM. Al ser analizado en diferentes periodos, el autor concluye que la mayor superficie de expansión son los densos bosques de tierras altas, que constituyen más del 72% del área total de la cuenca, así como la menor cobertura terrestre son los densos pastizales del continente. El año 1997 fue el mejor período de protección de cuencas, lo que podría estar relacionado con los factores sociales de aquella época. Los mayores cambios de área en los diferentes períodos analizados se produjeron en pastizales con malezas y áreas desnudas y degradadas.

López y Cruz (2020). En su artículo titulado “Dinámica forestal y uso del suelo en las cuencas que integran al municipio Tomatlán, Jalisco”, México. Tuvo como objetivo analizar la dinámica forestal y usos de suelo en las cuencas hidrográficas que integran al municipio Tomatlán, Jalisco (1997-2017). Clasificaron tres imágenes de los satélites Landsat 5 y 8 para clasificar la cobertura terrestre. Como resultado, crearon dos mapas temáticos que contienen siete categorías de cubierta forestal y uso de la tierra en software SIG. Estos mapas fueron comparados para calcular el cambio en la cobertura durante el tiempo estudiado. La tasa de cambio se determinó para el período 1997 a 2017, permaneciendo constante en 77% y cambiando en 23%. Los

resultados muestran que durante todo el intervalo de tiempo del análisis, la cobertura forestal aumentó más en el bosque de sotobosque de tamaño mediano, que aumentó en un 1%, la masa de agua disminuyó en un 1,2%. El autor menciona que este aumento en la cobertura está relacionado con el abandono de tierras agrícolas y ganaderas, mientras que los cuerpos de agua disminuyen, principalmente por el aumento de tierras agrícolas.

2.1.2. Nacional

Valqui (2023). En su tesis “Análisis del cambio de cobertura y uso del suelo del distrito de Corosha, Amazonas durante el periodo 2002-2022”, Perú. Tuvo como objetivo evaluar los cambios cobertura y uso del suelo del distrito de Corosha, como instrumento utilizo satélites Landsat 7 y 8, lenguaje de programación y el algoritmo Random Forest. Como resultado obtuvo que el bosque aumento de 62.99% a 64.71%, el pajonal disminuyo de 10.69% a 9.95%, el pasto aumento 13.79% a 20.53%, durante el periodo de 2002 a 2022 respectivamente, la proyección al 2060 realizadas con cadenas de Márkov indica reducción del bosque a 58.08%, aumento de pasto 25.13% y tierra desnuda al 5.58%. Los cambios hallados reflejan impactos ambientales y se señala la necesidad de estrategias de ordenamiento territorial.

Paredes (2023). En su tesis “Simulación geoespacial de los cambios de cobertura y uso de la tierra al año 2030 en la microcuenca Supte, distrito Rupa Rupa – Huánuco, 2022”, Perú. Tuvo como objetivo, simular los cambios de cobertura y uso de la tierra en la microcuenca Supte y predecir los cambios al 2030. Mediante clasificación de mapas por satélites Landsat y modelos de simulación en un software GIS. Obtuvo como resultado que existirá una pérdida de 817,03 ha de bosque y un aumento de áreas agrícolas 440,03 ha, pasto 218,79 ha. Por otro lado, se restaurarían de bosque 279,68 ha y de vegetación secundaria 211,94 ha. Las áreas agrícolas y de producción de pasto estarían contribuyendo a la deforestación de la zona de estudio.

Jara (2023). En su tesis titulado “Cambios de cobertura y uso del suelo en el área de influencia de la carretera Iquitos – Nauta, Periodo 1985 – 2022”, Perú. Tuvo como objetivo evaluar el cambio de cobertura y uso del suelo a consecuencia de la construcción y funcionamiento de la carretera Nauta. Por

medio de técnicas de teledetección y un software sistema de información geográfica, clasifíco los tipos de cobertura y uso del suelo. Los resultados hallados por el autor indican que desde el periodo 1985-2022 hubo un aumento para las clases de área urbana, áreas sin vegetación, cultivos, vegetación y cuerpos de agua. Por otro lado, hubo una disminución de bosques primarios, bosque inundable y Río. Estos resultados son un fenómeno llamado “espina de pescado” debido al área de influencia de la carretera.

Cachay (2023). En su tesis “Cambios de las coberturas y usos del suelo en la microcuenca del Río Jucusbamba, Amazonas (Perú), 1992-2052”. Tuvo como objetivo analizar los cambios de coberturas y uso del suelo en la microcuenca Jucusbamba durante el periodo de 1992-2052. Como instrumentos utilizó las imágenes satelitales Landsat y Sentinel, que fueron clasificados con el Random Forest en Google Earth Engine. Los resultados obtenidos indicaron para el periodo 1992-2022, el área urbanizada; pastos y cultivos aumentaron 0.76% y 24.36%. Por otro lado, Bosques y vegetación arbustivas/herbácea disminuyeron 8.89% y 16.25%. Para la simulación del periodo 2037-2052, se obtuvo tendencias decrecientes en bosques -1.47% y vegetación arbustiva -3.35%, pastos y cultivos 4.74% y áreas urbanizadas 0.07%.

Tabaco (2023). En su tesis “Cambios de cobertura boscosa y uso del suelo en la microcuenca Huamanpata, provincia Rodríguez de Mendoza, Amazonas (1990 – 2020)”, Perú. Tuvo como objetivo evaluar los cambios de cobertura y uso del suelo en la microcuenca Huamanpata. Para la cual utilizó imágenes satelitales Landsat 5 y 8, Google Earth Engine y el algoritmo Random Forest, para clasificar y procesar las coberturas. Los resultados hallados por el autor indican una pérdida de 2906.02 ha de cobertura boscosa, la mayor pérdida está en el periodo 2005-2020, a consecuencia del aumento de pastos y cultivos. El 80 % de los agricultores desconoce prácticas de conservación de suelo y manejo de plantaciones forestales, 95 % no conoce un plan de gestión de cuencas.

Lumba (2023). En su tesis “Análisis de la cobertura y usos de la tierra en el periodo 2000-2020 del distrito de Chalamarca- Chota-Perú”. Su objetivo

fue analizar los cambios tanto de cobertura como de uso del suelo en el distrito de Chalamarca. Mediante la metodología Corine Land Cover, imágenes satelitales Landsat y Google Earth Engine, clasifiqué las coberturas. Los resultados indicaron que hubo un cambio de cobertura de 9,571.58 ha y 8,215.31 ha que no hubo transformación de suelo. Categorías que aumentaron de superficie: bosques plantados 2,642.82 ha, cultivos transitorios 848.05 ha, pastos 322.20 ha. Superficies que disminuyeron vegetación herbácea 2,943.94 ha y arbustal 909.55 ha.

Yupanqui (2021). En su tesis *Dinámica de cobertura y uso del tierras para sostenibilidad de tres comunidades Asháninkas, Río Negro*. Tuvo como objetivo evaluar los cambios de cobertura y uso de tierras, evaluar estas influencias en las comunidades para su sostenibilidad. Los instrumentos que utilizó fueron imágenes de satélites con un análisis multitemporal y cuestionarios de encuestas. Obtuvo como resultados, que las tres comunidades perdieron más del 60 % en bosques primarios, superiores a su superficie inicial, con tasas de deforestación de 10.29 % anual, fragmentación por procesos de heterogeneidad en la cobertura vegetal. También existe incremento de bosques secundarios, cultivos y suelos desnudos, el 68.66 % de las coberturas totales han cambiado. Las comunidades del área de estudio presentan dependencia de la agricultura insostenible, también se percibe pérdida de recursos maderables y disminución del caudal del agua.

Callirgos y Quispe (2021). En su tesis “*Determinación de Cambios de Cobertura y de Uso del Suelo con Imágenes Satelitales, de la Microcuenca de la Quebrada Shumba- Jaén; Periodo 1998-2020*”, Perú. Tuvo como objetivo determinar los cambios de cobertura y uso del suelo en la microcuenca Shumba. Realizó una clasificación de coberturas mediante la metodología Corine Land Cover (CLC), los instrumentos utilizados se encuentran imágenes satelitales Landsat 5 y 8 y el software ArcGIS Pro. Como resultado obtuvo que en todo el periodo de estudio la cobertura y el uso del suelo tuvo un cambio equivalente a 4,942.294 ha y el área que no sufrió cambios es de 29,262.09 ha. Las clases que aumentaron su superficie fueron: los mosaicos de cultivo, pastos y espacios naturales (861.065 ha), cultivos transitorios (344.125 ha), tejido

urbano continuo (117.744), tierras desnudas (31.535 ha). Por otro lado, superficies que perdieron fueron: vegetación arbustiva/herbácea (241.885 ha) y bosque denso alto (112.711 ha).

Chariarse y Chariarse (2021). En su tesis “Análisis multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal mediante el uso de herramientas SIG aplicados a la cuenca de Chuyapi -Santa Ana - La Convención – Cusco”, Perú. Tuvo como objetivo un análisis multitemporal del uso del suelo y la cobertura vegetal en la cuenca Chuyapi. Como instrumento utilizó imágenes satelitales y software de sistema de información geográfica. Como resultado encontró que cobertura con mayor variación son: tierras de cultivo/vegetación natural equivale a 45.65% con tendencia negativa, la menor variación de unidad de cobertura vegetal tiene una variación de 0.45 km² que equivale en porcentaje a 11.36 %. La mayor variación de la unidad de uso del suelo fue Mosaico cubierta herbácea (>50 %) / árbol y arbusto (<50 %) que presenta una variación de 0.81km² y esta equivale a un 81.00 % de área de la cuenca. Concluyendo que la cuenca pertenece a un uso de producción forestal y un mínimo de espacio a los cultivos.

Subia (2020). En su tesis “Análisis multitemporal de cambio de cobertura vegetal y uso de suelos en el Parque Nacional Bahuaja Sonene y su zona de amortiguamiento”, Perú. Su objetivo en esta investigación fue hacer un análisis multitemporal de los cambios tanto de cobertura vegetal y uso de suelo. Mediante las herramientas Google Earth Engine y Imágenes Landsat, contando con la metodología MapBiomas, hizo el respectivo procesamiento de datos. Como resultado indica que en el periodo de 1984-2018, áreas como la cobertura vegetal presentó un cambio de 1.45% de su territorio total, cambios por sucesión vegetal es un total de 0.32%. La superficie de suelos agrícolas tiene un crecimiento de 13 has/año, en la zona de amortiguamiento los suelos agrícolas a partir del 2010 presentan un crecimiento considerable con el 2.95% de su territorio.

2.1.3. Local

Allca (2021). En su tesis “Análisis multitemporal de la expansión urbana, del distrito de Ayacucho, mediante imágenes satelitales, en el período 1990 – 2020”, Perú. Tuvo como objetivo evaluar multitemporal los cambios de expansión urbana. Los instrumentos que utilizó fueron imágenes satelitales. Los resultados indican que para 1990 la cobertura urbana es de 262.54ha y la cobertura vegetal es de 311.49 ha mientras que para 2020 la cobertura urbana es de 2107.03 ha lo cual es el 46.1% del distrito, cobertura vegetal del suelo tienen cambios considerables de 1906.50 ha 41.7% del área del estudio. Concluyendo así que el incremento de la cobertura urbana está afectado al medio ambiente que lo rodea.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Cobertura

La “cobertura” se refiere a las características físicas como biológicas, visibles y distribuidos espacialmente en la superficie terrestre, que pueden clasificarse en distintas clases de cobertura. Estas clases permanecen o cambian a lo largo del tiempo, ya sea por procesos naturales o por intervenciones humanas (FAO, 2023). La cobertura del suelo es un concepto clave en la teledetección y en estudios ambientales, ya que describe cómo está cubierto el suelo, independientemente de su uso (Chuvieco, 2008).

2.2.1.1. Distribución espacial y temporal de la cobertura:

La distribución espacial y temporal de la cobertura se refiere a cómo los diferentes tipos de cobertura del suelo (como bosques, áreas urbanas, cuerpos de agua, etc.) están organizados y cambian en el espacio y el tiempo (European Environment Agency [EEA], 1992). Este concepto tiene dos dimensiones claves

Espacialmente: la distribución de la cobertura describe la forma en que las diferentes categorías de cobertura del suelo se distribuyen a lo largo de una región geográfica o un paisaje específico. Se trata de entender cómo se agrupan o dispersan estas categorías en el terreno, lo que puede estar influenciado por factores naturales como la topografía y el clima o por

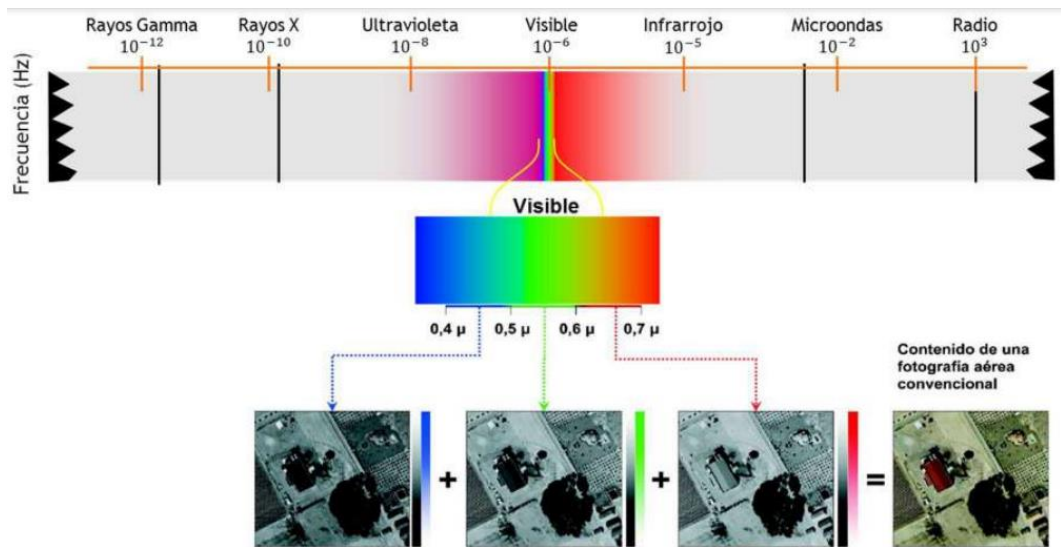
actividades humanas como la agricultura, la urbanización y la deforestación (EEA, 1992).

Temporalmente: la distribución de la cobertura examina cómo cambian las características del suelo a lo largo del tiempo. Este análisis permite identificar procesos como la deforestación, la desertificación o la regeneración natural de áreas, y entender las fuerzas que impulsan estos cambios (EEA, 1992).

2.2.1.2. Instrumentos para Identificar la Cobertura de la Tierra

Teledetección: Es el proceso de adquirir información sobre objetos o áreas desde una distancia, típicamente utilizando satélites o aviones. Este método permite obtener datos sobre la superficie terrestre y la atmósfera sin necesidad de contacto directo, utilizando sensores que detectan la radiación reflejada o emitida por los objetos. La teledetección es crucial para monitorear cambios ambientales, gestionar recursos naturales y realizar investigaciones científicas sobre el clima y los ecosistemas (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio [NASA], 2023). La teledetección tiene las siguientes características:

El Espectro Electromagnético: Es el rango completo de todas las longitudes de onda y frecuencias de la radiación electromagnética. Incluye desde las ondas de radio, hasta los rayos gamma, que tienen las longitudes de onda más cortas y las frecuencias más altas (Kumar, 2013). El espectro visible para el ojo humano cubre los colores desde el azul al rojo $0,4\mu$ al $0,7 \mu$ (Scientific Committees, 1999). El espectro electromagnético es fundamental para diversas aplicaciones científicas y tecnológicas, incluyendo la comunicación, la medicina y la astronomía. (Frank, 2017)

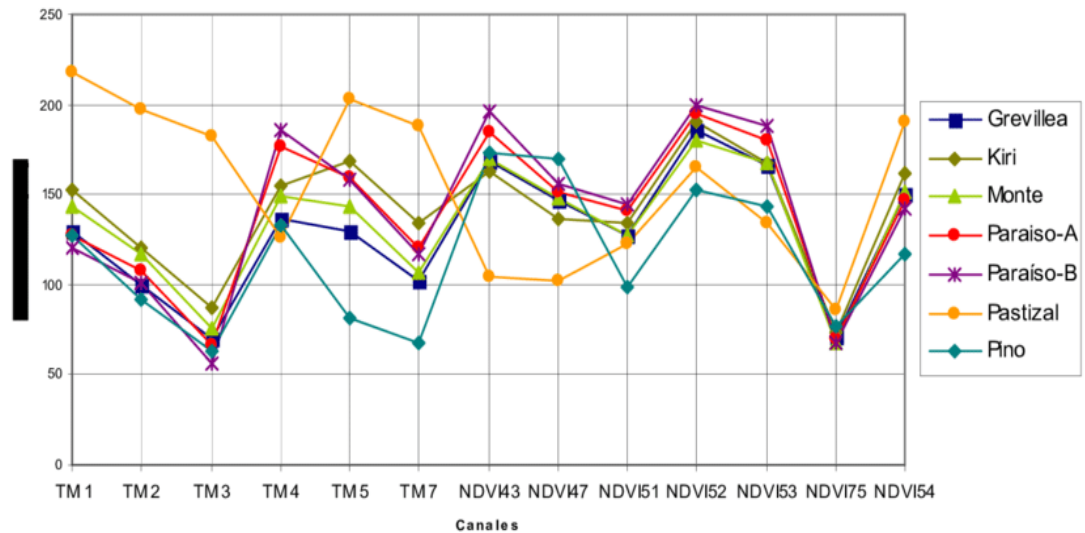
Figura 1.**Espectro Electromagnético**

Fuente: NASA (2011)

Firmas espectrales: Las firmas espectrales son patrones únicos de radiación electromagnética reflejada o emitida por diferentes materiales, observables a través de diversas longitudes de onda de espectro electromagnético. Estos patrones permiten identificar y diferenciar superficies como tipos de vegetación, minerales, cuerpos de agua entre otros, ya que cada uno tiene una firma espectral distinta (Speranza y Zerda, 2005)

Figura 2.

Firmas espectrales



Fuente: (Speranza y Zerda, 2005)

Programa Landsat: El programa Landsat es una serie de misiones de satélites de observación de la tierra, gestionando por la NASA y el servicio de geológico de Estados Unidos (USGS). Iniciado en 1972, Landsat ha proporcionado imágenes continuas de la superficie terrestre, capturando datos cruciales sobre la vegetación, el uso del suelo, la geología y el agua (Goward et al, 2017). Los satélites Landsat utilizan sensores avanzados para obtener imágenes multiespectrales, que son esenciales para monitorear cambios ambientales, gestionar recursos naturales y apoyar a la investigación científica (Barbieri et al, 2018).

Sensores Pasivos: Capturan la radiación natural reflejada o emitida por los objetos en la superficie terrestre, dependen de fuentes externas de energía, principalmente el sol, por ejemplo: Cámaras fotográficas, radiómetros, espectrómetros y sensores en satélites Landsat, (ESRI, 2024)

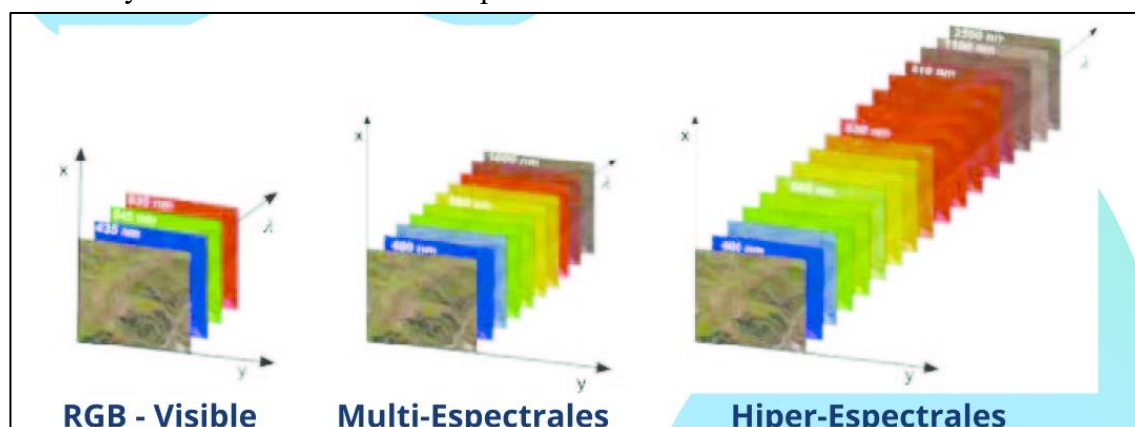
Sensores Activos: Emiten su propia energía hacia la superficie terrestre y luego miden la radiación de vuelta al sensor. Generan su propia fuente de radiación, como, por ejemplo: Radar, Lidar y Sonar, (ESRI, 2024)

Imagen satelital: Las imágenes de Landsat están formadas por 7, 8 y 11 bandas espectrales, cuya combinación genera una variedad de imágenes en color, aumentando significativamente sus aplicaciones. Dependiendo del

satélite y el sensor, se puede incluir un canal pancromático y/o uno térmico, y las resoluciones espaciales varían entre 15,30, 60 y 120 metros. Estas imágenes se utilizan principalmente para identificar y clasificar diferentes coberturas de la superficie terrestre, determinar la humedad del suelo, clasificar la vegetación y realizar estudios multitemporales (Camacho et al, 2015).

Figura 3.

Número y Anchura de las Bandas Espectrales



Nota: Cuanto mayor son el número y anchura de bandas espectrales la imagen tiene una mejor resolución.

Fuente: Camacho et al, (2015)

Procesamiento de Imágenes Satelitales: El procesamiento de imágenes es un conjunto de técnicas aplicadas a las imágenes satelitales para mejorar la calidad de los resultados (Fernández y Rincón, 2021). Se pueden considerar los siguientes pasos para procesar imágenes satelitales.

Selección de imágenes: Comienza con la selección de imágenes satelitales, se eligen imágenes adecuadas para el estudio considerando la cobertura temporal espacial necesaria. Posteriormente se hace el pre procesamiento que consiste en el cambio de formato.

Preprocesamiento: Cambio de formato las imágenes originales se convierten a un formato adecuado para el análisis, comprimiendo sin perder calidad de información. Correcciones radiométricas se ajustan las imágenes para corregir variaciones en la respuesta del sensor, asegurando que los valores de los píxeles reflejen adecuadamente la radiación terrestre. Correcciones

geométricas: Se alinean las imágenes a un sistema de coordenadas específico, eliminando distorsiones y asegurando que los datos espaciales sean precisos (Castillo, 2014).

Corrección Atmosférica: Se eliminan los efectos de la atmosfera, como el polvo y el vapor de agua, que pueden alterar los valores de los pixeles.

Ajuste de numero digitales (ND): Se eliminan las alteraciones en los números digitales (ND) de los pixeles mediante correcciones adicionales, garantizando la coherencia y precisión de los datos.

Fusión de Bandas: Las diferentes bandas espectrales se combinan para generar imágenes multiespectrales, lo que mejora la capacidad de análisis y visualización.

Clasificación de Imágenes: se utilizan algoritmos para clasificar las imágenes en diferentes categorías como tipos de vegetación, uso del suelo y cuerpos de agua.

Análisis multitemporal: Se comparan imágenes de diferentes momentos para identificar cambios en la cobertura y el uso del suelo a lo largo del tiempo.

Generación de productos finales: se crean mapas, gráficos y otros productos visuales a partir de las imágenes procesadas, listos para el análisis y la toma de decisiones.

El procesamiento asegura que las imágenes satelitales sean precisas, confiables y útiles para una amplia gama de aplicaciones (Chuvienco, 2008).

Interpretación de Imágenes satelitales: En el proceso de clasificación digital de imágenes, el operador guía a la computadora para que realice una interpretación basada en condiciones preestablecidas. Esta técnica es una parte integral de la interpretación digital de imágenes (Tempfli et al, 2009). Según (Chuvienco, 2008), Tradicionalmente, los métodos de clasificación se han dividido en dos categorías principales. **Clasificación supervisada:** La clasificación supervisada es un método de teledetección donde el operador selecciona áreas de muestra representativas para cada categoría de interés en

una imagen satelital. Estas áreas, conocidas como “regiones de entrenamiento”, contiene píxeles que el operador sabe a qué clase pertenecen. La computadora utiliza estos ejemplos para generar firmas espectrales, que describen las características espectrales de cada categoría (Chuvieco y Salas, 2002). **Clasificación no supervisada:** La clasificación no supervisada es un método de análisis en teledetección donde la computadora agrupa automáticamente los píxeles de una imagen en diferentes clases basándose en sus características espectrales, sin necesidad de que el operador proporcione ejemplos previos de estas clases (Chuvieco 2002). En este proceso, se utilizan algoritmos que identifican patrones naturales y similitudes en los datos espectrales para formar grupos o "clusters". Cada cluster representa una clase diferente de cobertura o uso del suelo. Después de que la computadora ha agrupado los píxeles, el operador revisa y asigna etiquetas a estas clases basándose en su conocimiento y en la interpretación de la imagen (Tempfli et al, 2009). Este método es útil cuando no se dispone de información previa detallada sobre el área de estudio, permitiendo descubrir patrones y clases desconocidas. Sin embargo, puede requerir más trabajo posterior para interpretar y validar los resultados, comparado con la clasificación supervisada (Vargas y Campos, 2018).

- a) **Google Earth Engine:** Google Earth Engine es una plataforma de computación en la nube desarrollada por Google para el análisis y visualización de grandes conjuntos de datos geoespaciales. Proporciona acceso a vastos archivos de datos satelitales, como imágenes de Landsat y Sentinel, y permite el procesamiento de estos datos en la infraestructura en la nube de Google (Zhao et al, 2021). Google Earth Engine tiene herramientas avanzadas para la observación de la Tierra y el análisis ambiental, facilita tareas como la clasificación de imágenes, la detección de cambios y la modelización climática (Eraso et al, 2022). Utiliza JavaScript y Python para la programación de scripts, lo que permite la automatización y personalización de análisis geoespaciales, y promueve la colaboración mediante la compartición de datos y resultados (Mutanga & Kumar, 2019)

b) Sistema de Información Geográfica (SIG): Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una herramienta tecnológica diseñada para capturar, almacenar, analizar, gestionar y visualizar datos geoespaciales. Estos sistemas combinan la cartografía tradicional con la capacidad de análisis y procesamiento de datos, permitiendo a los usuarios interactuar con mapas digitales y realizar complejos análisis espaciales (Dominguez, 2000). Los SIG integran datos provenientes de diversas fuentes, como imágenes satelitales, datos de GPS, sensores remotos y bases de datos geográficas, para proporcionar una representación precisa y detallada de la superficie terrestre (Duque, 2014). Una de las características fundamentales de los SIG es su capacidad para gestionar múltiples capas de información geoespacial, lo que facilita el análisis de relaciones espaciales y patrones (Macebo et al, 2008). Su capacidad para integrar, analizar y visualizar datos geoespaciales permite a los investigadores y planificadores comprender mejor las dinámicas y patrones en la superficie terrestre, son herramientas poderosas para el estudio de la cobertura y el uso del suelo (Olaya, 2014).

- **Componentes de un SIG:** Con el avance de la tecnología, los SIG han evolucionado para ser más accesibles y fáciles de usar, permitiendo a una amplia gama de usuarios, desde científicos hasta planificadores urbanos y gestores ambientales, aprovechar su potencia y versatilidad (Macebo et al, 2008). Según Bravo (2015), los componentes principales de un SIG son los siguientes:

Hardware: El hardware de un SIG incluye los dispositivos físicos necesarios para el funcionamiento del sistema. Esto abarca desde computadoras y servidores hasta dispositivos de almacenamiento y redes de comunicación. También incluye equipos de recolección de datos, como GPS y escáneres, que permiten la entrada de datos geoespaciales al sistema. El hardware adecuado es esencial para procesar grandes volúmenes de datos y ejecutar aplicaciones SIG de manera eficiente.

Dato: Los datos son el núcleo de cualquier SIG. Incluyen información geoespacial en forma de mapas, imágenes satelitales, datos de GPS, y bases de datos geográficas. Los datos pueden ser en formato ráster o vectorial, y

abarcan una amplia variedad de fuentes, como censos, investigaciones de campo, y sensores remotos. La calidad y precisión de los datos son cruciales para obtener resultados confiables y precisos en los análisis.

Software: El software de un SIG consiste en aplicaciones y programas que permiten la captura, almacenamiento, análisis y visualización de datos geoespaciales. Esto incluye sistemas operativos, software de bases de datos, programas de análisis geoespacial y aplicaciones de cartografía. Los ejemplos más comunes son ArcGIS, QGIS y Google Earth Engine. El software de SIG debe ser capaz de manejar y procesar diversos tipos de datos espaciales y ofrecer herramientas de análisis robustas.

Personal capacitado: Las personas son un componente esencial de un SIG, ya que son quienes diseñan, implementan y utilizan el sistema. Esto incluye desde analistas y técnicos que procesan y interpretan los datos, hasta decisores y planificadores que utilizan los resultados para tomar decisiones informadas. La capacitación y habilidades del personal son fundamentales para maximizar el potencial de un SIG y asegurar su correcto funcionamiento y aplicación.

- **Procedimientos:** Los métodos en un SIG se refieren a las técnicas y procedimientos utilizados para recolectar, procesar, analizar y presentar datos geoespaciales. Esto incluye métodos de análisis espacial, modelado geográfico, y técnicas de visualización de datos. Los métodos bien definidos y estandarizados son esenciales para garantizar la consistencia y reproducibilidad de los resultados del SIG.

Figura 4.

Componentes de un Sistema de Información Geográfico

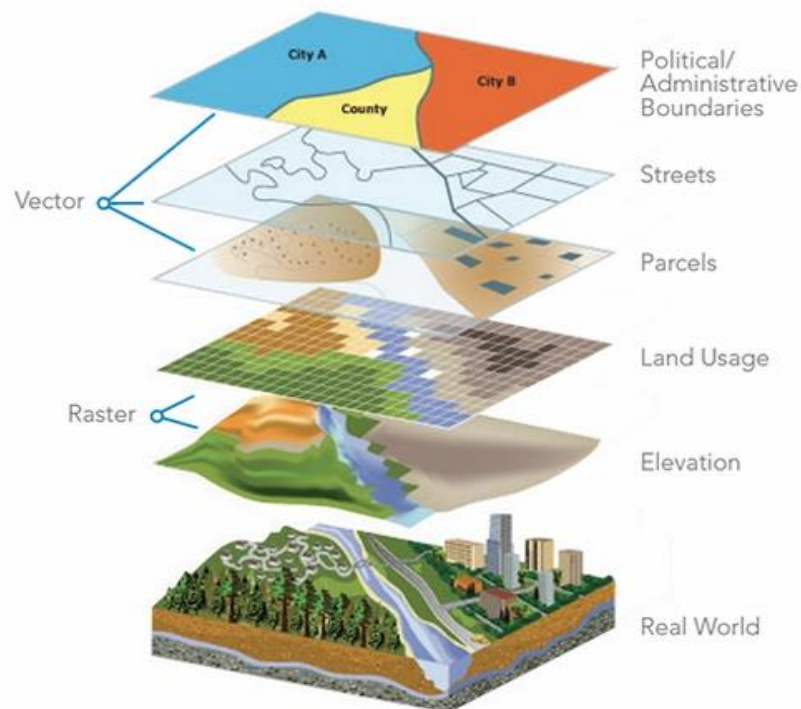


Nota: Los componentes de un SIG ofrecen un lente espacial a través de la cual podemos comprender e interactuar con nuestro planeta en constante evolución

Fuente: Bravo (2015)

Modelo Vectorial: Representa el espacio geográfico mediante puntos, líneas y polígonos, donde cada entidad tiene atributos que describen sus características (Pucha et al, 2017).

Modelo Ráster: Representa el espacio geográfico mediante una matriz de celdas o píxeles, donde cada celda tiene un valor asociado que representa una característica de la superficie, como la elevación, la temperatura o la cobertura del suelo (Domínguez, 2000). Las celdas están organizadas en una cuadrícula regular, y el tamaño de las celdas determina la resolución espacial del ráster; cuanto más pequeñas son las celdas, mayor es la resolución (Pucha et al, 2017). En muchos casos, los SIG utilizan ambos modelos juntos. Por ejemplo, un análisis de uso del suelo puede combinar un mapa ráster de vegetación con datos vectoriales de redes de carreteras y límites administrativos para proporcionar un análisis integral.

Figura 5.**Modelo Vectorial y Ráster**

Nota: La combinación de ambos modelos crean un mapa temático.

Fuente: Lozada (2017)

Ambos modelos son esenciales en la gestión y análisis de datos geospaciales, y la elección entre ellos depende del tipo de datos y del análisis requerido.

- **Técnicas de análisis multitemporal:** Las técnicas de análisis temporal en SIG son métodos utilizados para estudiar los cambios y dinámicas en la cobertura y uso del suelo a lo largo del tiempo. Estas técnicas incluyen el análisis de series temporales, que implica comparar imágenes satelitales de diferentes momentos (Chuvieco, 1990). También identifica y cuantifica áreas de cambio significativo; y los modelos de transición, como las cadenas de Márkov, que predicen futuras alteraciones basadas en patrones históricos (Korotov et al, 1990). Estos enfoques permiten a los investigadores y planificadores comprender tendencias, evaluar impactos ambientales y tomar decisiones informadas sobre la gestión territorial.
- c) **Salida a Campo:** Las salidas a campo para validar los datos son una parte crucial del proceso de análisis en un Sistema de Información Geográfica (SIG), especialmente en estudios de cobertura y uso del suelo. Estas salidas

aseguran que los datos obtenidos a través de imágenes satelitales y otros métodos remotos sean precisos y representativos de la realidad en el terreno (Macebo et al, 2008).

2.2.1.3. Clasificación de la Cobertura Terrestre: La clasificación de la cobertura terrestre es el proceso de categorizar la superficie del suelo en diferentes tipos de cobertura, como bosques, áreas urbanas, cuerpos de agua, cultivos y pastizales, utilizando datos geospaciales, generalmente obtenido de imágenes satelitales o aéreas (Petraglia y Acosta, 2008). Este proceso implica el uso de algoritmos de clasificación, que pueden ser supervisados o no supervisados, para identificar y etiquetar cada pixel de la imagen en una clase específica basada en sus características espectrales (Vargas y Campos, 2018).

- **Sistema de Clasificación Random Forest:** El sistema de clasificación Random Forest es un algoritmo de aprendizaje automático utilizado en la clasificación de datos geospaciales, como imágenes satelitales, para la cobertura terrestre. Una de las técnicas más populares es la de Breiman e Ihaka (1984) Funciona creando múltiples árboles de decisión durante el entrenamiento y combinando sus resultados para mejorar la precisión y evitar el sobreajuste. Cada árbol se entrena con un subconjunto aleatorio de los datos y características, lo que le permite capturar diversas variaciones y patrones en los datos. Este enfoque robusto y versátil es especialmente efectivo en la clasificación de datos complejos y de alta dimensión, y se utiliza ampliamente en estudios de teledetección y análisis espacial para identificar y categorizar diferentes tipos de cobertura y uso del suelo.

Cambio temporal de la cobertura: El cambio temporal de la cobertura indica variaciones en las características y tipos de cobertura del suelo que ocurren a lo largo del tiempo. Este concepto implica observar y analizar cómo las diferentes categorías de cobertura como bosques, áreas agrícolas, zonas urbanas, cuerpos de agua, etc. se modifican en un período específico, que puede ser corto (meses o años) o largo (décadas o siglos) (European Environment Agency [EEA], 1992)

2.2.2. Uso de suelo

El “uso del suelo” se define como la forma en que el ser humano y los procesos naturales interactúan y modifican la extensión de la superficie terrestre. Abarca las prácticas humanas, como la agricultura, la urbanización y la ganadería, que transforman el territorio para satisfacer necesidades sociales y económicas, así como las dinámicas naturales que configuran los ecosistemas, como la regeneración de vegetación, la erosión y la hidrología (EEA, 1992)

2.2.2.1. Tipos de Uso de Suelo

Según la metodología CORINE Land Cover (CLC), los tipos de uso del suelo se agrupan en categorías que reflejan cómo se utiliza el terreno, más allá de su cobertura física (EEA, 1992)

2.2.2.2. Sistema de Clasificación CORINE Land Cover

A inicios de la década de 1980, la Comisión Europea identificó la necesidad de disponer de un conjunto de datos completo, preciso y uniformado sobre la cobertura y el uso del suelo en Europa. En ese entonces, los mapas nacionales de cobertura del suelo eran generalmente inconsistentes y difíciles de comparar entre países, lo que complicaba considerablemente la posibilidad de supervisar el entorno europeo a nivel continental. Para solucionar este problema la Comisión Europea presentó el proyecto de clasificación CORINE Land Cover (CLC) para proporcionar información coherente y comparable sobre el uso y la cobertura del suelo en Europa. CORINE, que significa "Coordination of Information on the Environment" (Coordinación de Información sobre el Medio Ambiente). Fue iniciado en 1985 y en 1990 produjo su primer conjunto de datos CORINE sobre coberturas de suelo. Desde entonces ha evolucionado para convertirse en una herramienta fundamental para la gestión ambiental y la planificación territorial (EEA, 1992).

El sistema de clasificación CORINE Land Cover tiene una adaptación al país de Perú el cual es una versión personalizada del proyecto CORINE Land Cover del país de Colombia, ajustada para reflejar las condiciones ambientales, geográficas y socioeconómicas específicas del país sudamericano. Este sistema se adapta para proporcionar una clasificación

detallada y coherente del uso y la cobertura del suelo en Perú, facilitando la gestión ambiental y la planificación territorial en el contexto peruano (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2014).

2.2.2.3. Leyenda de Corine Land Cover Perú

La leyenda fue creada conforme a los acuerdos regionales relacionados con el esquema CORINE Land Cover (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2010). Este esquema colombiano, se ha adaptado para Perú, con marco de comparabilidad internacional. CORINE Land Cover (CLC) es una metodología utilizada para elaborar mapas de cobertura y uso del suelo. Utiliza una leyenda jerárquica que conecta diferentes niveles de detalle espacial (escala espacial) con distintos niveles de detalle temático (niveles de la leyenda jerárquica).

Figura 6.

Propuesta de Leyenda de Cobertura de la tierra – Perú

Nivel I	Nivel II	Nivel III
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo
	1.2. Áreas industriales e infraestructura	1.2.1. Áreas industriales o comerciales
		1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados
		1.2.3. Áreas portuarias
		1.2.4. Aeropuertos
		1.2.5. Obras hidráulicas
		1.2.6. Infraestructura petrolera
	1.3. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos
		1.3.2. Áreas de disposición de residuos
1.4. Áreas verdes artificializadas, no agrícolas	1.4.1. Áreas verdes urbanas	
	1.4.2. Instalaciones recreativas	
2. Áreas Agrícolas	2.1 Cultivos transitorios	2.1.1. Otros Cultivos Transitorios
		2.1.2. Cereales
		2.1.3. Oleaginosas y leguminosas
		2.1.4. Hortalizas
		2.1.5. Tubérculos
	2.2 Cultivos permanentes	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos
		2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos
		2.2.4. Cultivos agroforestales
		2.2.5. Cultivos confinados
	2.3 Pastos	
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de Cultivos
		2.4.2. Mosaico de Pastos y Cultivos
		2.4.3. Mosaico de Cultivos, pastos y espacios naturales
		2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales
2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales		
3. Bosques áreas mayormente	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso bajo
		3.1.2. Bosque abierto bajo
		3.1.3. Bosque denso alto

		3.1.1. Bosque denso bajo
		3.1.2. Bosque abierto bajo
		3.1.3. Bosque denso alto
		3.1.4. Bosque abierto alto
		3.1.5. Bosque fragmentado
		3.1.6. Bosque Ripario
		3.2.1. Plantación Forestal
	3.2 Bosques plantados	
		3.3.1. Herbazal
		3.3.2. Arbustos
		3.3.2. Arbustos
		3.3.3. Vegetación secundaria o en transición
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.4. Vegetación arbustiva / herbácea
		3.3.4. Vegetación arbustiva / herbácea
		3.3.5. Arbustos / área intervenida
		3.3.6. Herbazal / área intervenida
		3.3.7. Arbustos - Herbazal/ área intervenida
		3.4.1. Áreas arenosas naturales
		3.4.2. Afloramientos rocosos
	3.4 Áreas sin o con poca vegetación	3.4.3. Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)
		3.4.4. Áreas quemadas
		3.4.5. Glaciares
		3.4.6. Salares
		4.1.1. Áreas Pantanosas
		4.1.2. Turberas y bofedales
	4.1. Áreas húmedas continentales	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
		4.2.1. Pantanos costeros
		4.2.2. Salitral
	4.2. Áreas húmedas costeras	4.2.3. Sustratos y sedimentos expuestos en bajamar
		5.1.1. Ríos (50 m)
		5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes
	5.1. Aguas continentales	5.1.3. Lagunas, lagos y ciénagas naturales estacionales
		5.1.4. Canales
		5.1.5. Cuerpos de agua artificiales
		5.2.1. Lagunas costeras
	5.2. Aguas costeras	5.2.2. Mares y océanos
		5.2.3. Estanques para acuicultura marina

Nota: El Ministerio del Ambiente propuso esta leyenda jerárquica para clasificar y caracterizar la cobertura y uso del suelo interpretadas a partir de imágenes satelitales

Fuente: MINAM (2014)

2.2.2.4. Extensión del uso de suelo

La extensión del uso de suelo señala la cantidad de superficie territorial que se dedica a una determinada actividad o función dentro de una región geográfica. Este concepto describe el área ocupada por distintos tipos de uso de suelo, como la agricultura, la urbanización, la forestación, o la conservación de espacios naturales (EEA, 1992). Tiene dos aspectos principales:

Área Cubierta: La extensión se mide generalmente en hectáreas o kilómetros cuadrados y se refiere a la superficie total que un tipo particular de uso del suelo ocupa dentro de una región o territorio específico (EEA, 1992).

Distribución: La extensión del uso del suelo varía en función de factores como la topografía, la disponibilidad de recursos naturales, y las políticas de ordenamiento territorial. Es crucial para la planificación del territorio y el desarrollo sostenible, ya que determina el equilibrio entre las actividades humanas y la conservación de los ecosistemas (EEA, 1992).

2.2.3. Cambios de Cobertura y Uso de Suelo

Estudiar los cambios de cobertura y uso del suelo es esencial para comprender cómo las actividades humanas y los procesos naturales afectan el medio ambiente (Bocco, 2001). Estos estudios permiten identificar tendencias en la transformación del paisaje, evaluar el impacto de la urbanización, la deforestación y la expansión agrícola, y prever cómo estos cambios pueden influir en la biodiversidad, los recursos hídricos y el clima (Brown, 2000). Al monitorear estos cambios, se pueden desarrollar estrategias de gestión y conservación que protejan los ecosistemas y promuevan un uso sostenible de los recursos naturales, asegurando la salud y resiliencia del medio ambiente para futuras generaciones (Bocco, 2001).

Además, el análisis de los cambios de uso del suelo proporciona información crucial para la planificación y el desarrollo territorial. Las autoridades pueden utilizar estos datos para diseñar políticas y regulaciones que optimicen el uso del suelo, minimicen el impacto ambiental y promuevan el desarrollo socioeconómico equilibrado (Aldana, 2008). Esto incluye la identificación de áreas prioritarias para la conservación, la planificación de

infraestructuras y la gestión de riesgos naturales. En última instancia, estos estudios son fundamentales para la toma de decisiones informadas que equilibren las necesidades humanas con la preservación del medio ambiente (Brown, 2000).

2.2.3.1. Indicadores de validación de la clasificación o evaluación de la exactitud

La validación de la exactitud temática permite determinar el grado de precisión de los valores obtenidos en el análisis de cobertura y uso de la tierra, producidos por la metodología aplicada en comparación con sus características reales y su correcta clasificación (Llactavo et al, 2013).

Para esta validación se utiliza un conjunto de datos de campo y datos aleatorios para evaluar la consistencia del mapa mediante métricas cuantitativas de evaluación: la matriz de confusión, el índice Kappa (IK) y el porcentaje de clasificación correcta (PCC) (MINAM, 2014).

- **Matriz de confusión:** La matriz de confusión es una herramienta esencial para evaluar la precisión de un modelo de clasificación, especialmente en el contexto de la validación de mapas de cobertura y uso del suelo. Esta matriz compara las clasificaciones predichas por el modelo con las clasificaciones verdaderas, organizándolas en una tabla que facilita la visualización de los errores de clasificación (Molinero, 2001).
- **Índice Kappa:** El índice Kappa, también conocido como coeficiente Kappa de Cohen, es una métrica estadística utilizada para evaluar la concordancia entre dos clasificadores o evaluaciones (Chuvieco, 1990). Es especialmente útil en la validación de mapas de cobertura y uso del suelo, así como en otros contextos donde se necesita comparar la precisión de clasificaciones categóricas. El índice Kappa tiene en cuenta la concordancia que ocurre por azar, proporcionando una medida más robusta que la simple exactitud (Chuvieco y Salas, 2002).

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$$

Donde:

- P_o es la proporción de observaciones en las que los evaluadores están de acuerdo (exactitud observada)
- P_e es la proporción de observaciones en las que se esperaría que los evaluadores estuvieran de acuerdo por azar (exactitud esperada).

El índice Kappa puede variar entre 0 a 1, donde 0 significa concordancia nula y 1 concordancia exacta de la clasificación. Según el valor, el índice Kappa puede ser organizado de acuerdo con la siguiente escala.

Tabla 2.

Valoración del coeficiente Kappa

Coeficiente de kappa (K)	Fuerza de concordancia
0,00	Pobre
0,01 – 0,20	Leve
0,21 – 0,40	Aceptable
0,41 – 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Casi considerable
0,81 – 1,00	Casi perfecta

Fuente: Landis y Koch (1977) .

- **Porcentaje de Clasificación Correcta:** El porcentaje de clasificación correcta (PCC), es una métrica que mide la proporción de casos correctamente clasificados en un conjunto de datos. Se calcula dividiendo el número de clasificaciones correctas por el número total de clasificaciones y multiplicando por 100 para obtener un porcentaje. Es una medida simple pero efectiva para evaluar el rendimiento general de un modelo de clasificación (Poveda et al, 2022).

2.3. Definición de Términos

- **Actividades Antrópicas:** Las actividades antrópicas son todas aquellas acciones realizadas por los seres humanos que afectan el medio ambiente y los ecosistemas naturales. Estas actividades incluyen la agricultura, la deforestación, la urbanización, la minería, la industria, la pesca, y el uso de combustibles fósiles, entre otras (Botkin & Keller).
- **Algoritmo:** Un algoritmo es un conjunto finito de instrucciones o reglas bien definidas y ordenadas que se utilizan para resolver un problema o realizar una tarea específica. Se ejecuta paso a paso para obtener un resultado en un tiempo finito (ESRI, 2022).
- **Pixel:** Un píxel es la unidad más pequeña de una imagen digital, representando un único punto de color en una cuadrícula que compone la imagen. Cada píxel tiene un valor de color que contribuye al conjunto visual cuando se ve en conjunto con otros píxeles (ESRI, 2024).

III. METODOLOGIA

3.1. Tipo y Nivel de Investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de Tipo Básica, porque busca generar conocimiento teórico sobre la dinámica de los cambios de cobertura y uso de suelo, sin enfocarse en la aplicación inmediata de este conocimiento, sino entender los fenómenos subyacentes (Martínez, 2020). De acuerdo al control de medición de la variable de estudio, en opinión de (Supo, 2024), “la presente investigación se enmarca en el los estudios retrospectivos, lo cual implica el uso de datos que provienen de mediciones en el que investigador no tuvo participación en su generación”. En el caso específico de esta investigación, las imágenes satelitales a utilizar serán provenientes de la base datos de la NASA.

3.1.2. Nivel de investigación

La presente investigación es de nivel descriptivo, ya que se centra en caracterizar y analizar la distribución espacial y temporal de las coberturas y usos del suelo en el distrito de Huanta. No se busca establecer relaciones causales entre ambas variables, sino identificar sus cambios a lo largo del tiempo, sus tendencias y posibles proyecciones futuras con base en la metodología CORINE Land Cover.

3.1.3. Enfoque de investigación

Tiene un enfoque cuantitativo porque se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos para examinar los cambios en la cobertura y el uso del suelo, permitiendo identificar patrones y tendencias de manera objetiva y medible (Martínez, 2020).

3.1.4. Diseño de Investigación

Tiene un diseño (no experimental- transversal) porque se enfoca en describir las características de los cambios en la cobertura y uso del suelo en el distrito de Huanta, sin manipular las variables (Supo, 2024).

Por ultimo tiene un diseño transversal porque se basa en la recolección de datos en un solo punto en el tiempo para analizar la dinámica de la cobertura y el uso del suelo en el distrito de Huanta (Martínez, 2020).

3.2. **Ámbito Temporal y Espacial**

3.2.1. **Ámbito Temporal**

El presente estudio considera los años 1986, 2001, 2016 y 2024 como periodos de análisis para evaluar la dinámica de los cambios de cobertura y uso del suelo en el distrito de Huanta, con una proyección al año 2040. La selección de estos periodos responde a los siguientes criterios:

- **Disponibilidad de imágenes satelitales:** Los años seleccionados corresponden a periodos con imágenes satelitales de calidad adecuada, libres de Perturbaciones Atmosféricas, Problemas Radiométricos y Problemas Geométricos, obtenidas a partir de los sensores Landsat. El año 1986 es el más antiguo en el que se puede obtener la primera imagen satelital sin perturbaciones significativas para el distrito de Huanta, lo que permite establecer una línea base confiable para el análisis de cambios.
- **Frecuencia temporal equidistante:** Se busca mantener un intervalo de aproximadamente 15 años entre cada periodo (excepto 2024, año más reciente), lo que permite capturar tendencias a largo plazo sin perder información sobre cambios acelerados.
- **Necesidad de un análisis a largo plazo:** Dado que los procesos de cambio en la cobertura ocurren de manera progresiva y pueden tardar décadas en evidenciar tendencias significativas, es fundamental estudiar este fenómeno en largos periodos para identificar patrones de transformación territorial (Chuvieco, 1990).
- **Actualidad de la información:** El 2024 representa la situación más reciente de la cobertura y uso del suelo, proporcionando un punto de referencia actual para la proyección al 2040.
- **Proyección al 2040:** Se incluye este año utilizando modelos de predicción como las Cadenas de Márkov, con base en los patrones observados en los periodos previos. Se ha establecido un intervalo de 16 años desde el 2024, similar a los intervalos temporales analizados en el estudio, con el fin de

mantener la coherencia en la periodicidad de los datos y la identificación de tendencias espaciales y temporales.

3.2.2. **Ámbito Espacial**

El distrito de Huanta está ubicado en la provincia de Huanta, en la región de Ayacucho, Perú. Con una extensión de 16,470 ha, se sitúa en la zona central de los Andes peruanos, con un terreno montañoso y una altitud que varía desde los 2,264 metros sobre el nivel del mar en sus áreas bajas y hasta los 4,814 metros en las áreas más altas. Limita con otros distritos de la provincia de Huanta y de la región Ayacucho, y presenta una geografía variada que incluye áreas de bosques, zonas agrícolas, y áreas urbanas, además de cuerpos de agua como ríos y lagunas. Con una población de 48,576 habitantes según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2017).

Tabla 3.

Ubicación Política

Departamento	:	Ayacucho
Provincia	:	Huanta
Distrito	:	Huanta

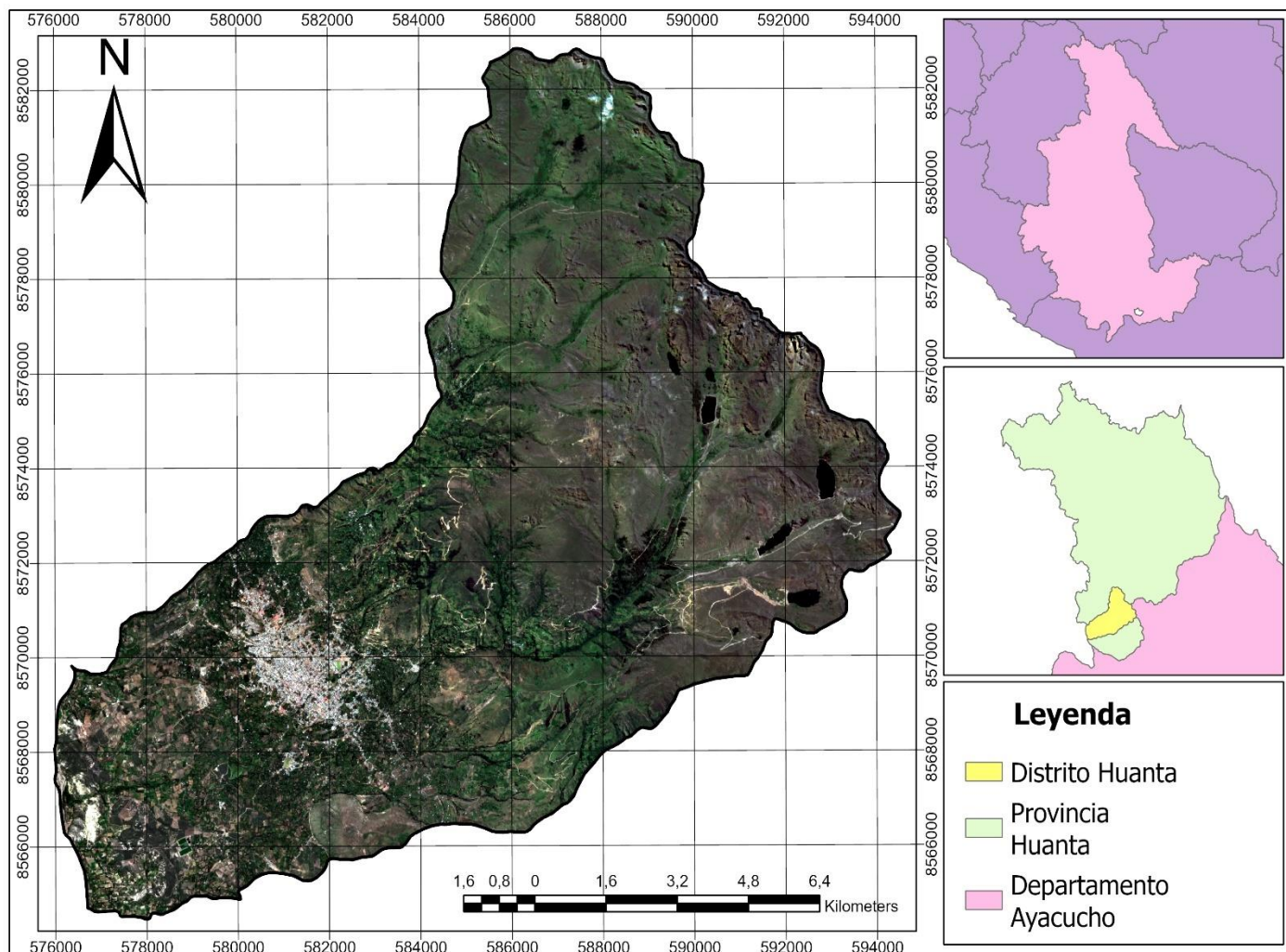
Tabla 4.

Ubicación Geográfica UTM

Altitud	:	2628 m.s.n.m
E	:	581581.79 m E
S	:	8569394.82 m S

Figura 7.

Mapa de Ubicación del Distrito de Huanta



3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

La población de la presente investigación está compuesto por todas las coberturas existentes dentro de la superficie territorial del distrito de Huanta que abarca una extensión de 16,470 hectáreas.

3.3.2. Muestra

Por la naturaleza de esta investigación, la muestra es igual a la población, debido a que se está trabajando con todas las coberturas existentes dentro del área de estudio.

3.4. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos

3.4.1. Técnicas:

Compilación de imágenes satelitales: Esta técnica consisten en la recolección y procesamiento de imágenes de distintos períodos para analizar los cambios en la cobertura y el uso del suelo en una área específica (Chuvienco, 2008). Al revisar imágenes satelitales históricas y actuales permite identificar patrones de transformación y entender mejor las dinámicas de los ecosistemas y del uso del suelo a lo largo del tiempo en el distrito de Huanta. Para lo cual se hará uso de instrumentos informáticos pertinentes.

Clasificación supervisada: En esta clasificación, se seleccionan muestras de las diferentes categorías de cobertura (por ejemplo, áreas urbanas, agrícolas, forestales) que se requiera identificar en el área de estudio, y entenas un algoritmo de clasificación, como el Random Forest, para que distinga estas clases en toda la imagen.

3.4.2. Instrumento:

En esta investigación, los instrumentos para la recolección de datos son los softwares Google Earth Engine y ArcGIS Pro, dos plataformas avanzadas en el análisis geoespacial y teledetección.

Google Earth Engine: Siendo una herramienta en línea que permite procesar grandes volúmenes de datos satelitales y realizar análisis geoespaciales a través de la nube. Esencial para obtener mapas satelitales preprocesados de los diferentes satelitales Landsat de diferentes años. También la obtención de modelos digitales de elevación (Solórzano & Perilla, 2022). También permite aplicar la técnica de clasificación supervisada mediante algoritmos Random Forest, los cuales proporcionan mapas precisos de cobertura y uso del suelo en el área de estudio.

ArcGIS Pro: Es una plataforma GIS que permite el análisis y visualización detallada de datos geográficos. Este software es fundamental para el post-procesamiento de los datos y la generación de mapas detallados, así como para la organización y análisis de las capas de información, como los resultados de la clasificación de cobertura y uso del suelo (ESRI, 2024). ArcGIS Pro también proporciona herramientas de análisis espacial que complementan los datos procesados en Google Earth Engine, facilitando la presentación de resultados de forma clara y visualmente efectiva.

3.5. Validación y Confiabilidad de los Instrumentos

3.5.1. Validación de Google Earth Engine y ArcGIS Pro:

Ambos softwares son ampliamente reconocidos en el campo de la teledetección y el análisis geoespacial, utilizados por investigadores y agencias ambientales a nivel global. Google Earth Engine proporciona acceso a una base de datos de imágenes satelitales con calidad controlada, y sus algoritmos de clasificación (como Random Forest) han sido validados en estudios científicos, lo que asegura su confiabilidad (Gorelick et al, 2017). Asimismo, ArcGIS Pro permite realizar una validación cruzada mediante análisis visual y comparativo, revisando la exactitud de las clasificaciones generadas (ESRI, 2024).

3.5.2. Confiabilidad:

La confiabilidad se garantiza mediante la repetición del proceso de clasificación en diferentes periodos (1986, 2001, 2016 y 2024) y el uso de metodologías estándar, como CORINE Land Cover, que ayudan a mantener la consistencia en la interpretación de los datos. Además, el uso de índices de precisión, como la matriz de confusión, Índice Kappa y el porcentaje correctamente clasificado (PPC), proporciona una medida cuantitativa de la exactitud de las clasificaciones generadas, permitiendo ajustar el modelo y mejorar su precisión en cada iteración.

3.6. Procedimientos

3.6.1. Selección y Recolección de Imágenes Satelitales

El proceso inicia con la selección de imágenes satelitales Landsat en la plataforma Google Earth Engine quien tiene acceso a la base de datos del portal de Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Se realizó un rango de búsqueda para cada satélite que contempla el periodo de 1986 hasta 2024, con los siguientes criterios de selección: 1) Portar un máximo de 10% de nubes y sombras 2) No presentar algunas alteraciones en los píxeles 3) Las imágenes seleccionadas deben de haber sido tomadas en meses cercanos (Chuvioco, 2008) (Tabla 5). Las mejores imágenes filtradas, seleccionadas y recolectadas fueron de los años (1986, 2001, 2016 y 2024) (Tabla 6).

Tabla 5.

Selección de imágenes satelitales Landsat

Rango de búsqueda	Satélite	Sensor	Colección	Porcentaje de Cobertura de nubes	Cantidad de imágenes
1984 a 1999	Landsat 5	TM	USGS Landsat 5 Level 2, Collection 2, Tier 1 (Reflectance Surface)	< 10 %	5
2000 a 2020	Landsat 7	ETM+	USGS Landsat 7 Level 2, Collection 2, Tier 1 (Reflectance Surface)	< 10 %	8
2013 hasta la actualidad	Landsat 8	OLI	USGS Landsat 8 Level 2, Collection 2, Tier 1 (Reflectance Surface)	< 10 %	6
2021 hasta la actualidad	Landsat 9	OLI 2	USGS Landsat 9 Level 2, Collection 2, Tier 1 (Reflectance Surface)	< 10 %	7

Tabla 6.

Recolección de las imágenes satelitales Landsat

Fecha	Satélite	Sensor	Nº de Imagen de la Colección	Porcentaje de Cobertura de nubes	Bandas Espectrales
10/07/1986	Landsat 5	TM	USGS Landsat 5 Level 2, Collection 2, Tier 1 (Reflectance Surface)	< 10 %	7
12/08/2001	Landsat 7	ETM+	USGS Landsat 7 Level 2, Collection 2, Tier 1	< 10 %	8

29/08/2016	Landsat 8	OLI	(Reflectance Surface) USGS Landsat 8 Level 2, Collection 2, Tier 1	< 10 %	11
08/06/2024	Landsat 9	OLI 2	(Reflectance Surface) USGS Landsat 9 Level 2, Collection 2, Tier 1	< 10 %	11

3.6.2. Preprocesamiento de imágenes satelitales

Las colecciones de **Level 2, Collection 2, Tier 1** (Surface Reflectance) de los satelitales Landsat 5, 7, 8 y 9, que proporciona la plataforma de Google Earth Engine, ya están preprocesadas en varios aspectos clave: a) Las imágenes de **Level 2** ya han pasado por un procesamiento de calibración para corregir distorsiones radiométricas y geométricas básicas, b) El procesamiento de **Level 2** en la colección de Landsat incluye corrección atmosférica, lo cual transforma los datos a reflectancia de superficie, eliminando parcialmente el efecto de la atmósfera (nubes, aerosoles) para que las mediciones de reflectancia sean más precisas y c) Al ser de la colección **Tier 1**, estas imágenes son de alta calidad y cumplen con criterios estrictos de precisión de registro geográfico, lo cual es esencial para análisis temporal y espacial precisos (Gorelick, 2017).

3.6.3. Pre identificación de Coberturas

Para realizar una pre identificación de coberturas se utilizaron combinaciones de bandas que resaltan diferentes características del terreno (agua, vegetación, áreas urbanas, suelo desnudo, entre otros.), en función a las siguientes tablas 7, 8 y 9:

Tabla 7.

Combinación de bandas para Landsat 5 (TM)

Combinación de Bandas	Aplicación
B3-B2-B1	Resalta el paisaje como lo veríamos a simple vista.
B4-B3-B2	Resalta la vegetación en tonos rojos y es útil para la diferenciación de áreas con vegetación densa.
B5-B4-B3	Realza la vegetación en tonos verdes y muestra el suelo desnudo y áreas urbanas en tonos marrones y grises.
B7-B4-B2	Resalta las características geológicas y es útil para identificar suelo desnudo y rocas.
B7-B5-B3	Resalta la vegetación en tonos verdes y las zonas urbanas en tonos blancos.
B5-B4-B1	Esta combinación resalta las zonas agrícolas.

Fuente: (Jiménez, 2016)

Tabla 8.

Combinación de bandas para Landsat 7 (ETM+)

Combinación de Bandas	Aplicación
B3-B2-B1	Útil para una representación visual cercana a la visión humana.
B4-B3-B2	Vegetación en rojo, útil para distinguir diferentes tipos de vegetación.
B5-B4-B3	Destaca la vegetación en tonos verdes y ayuda a identificar áreas urbanas y cuerpos de agua.
B7-B4-B2	Resalta las características geológicas y edáficas.
B7-B5-B3	Útil para la identificación de minerales y tipos de suelo.

Fuente: (Jiménez, 2016)

Tabla 9.

Combinación de bandas para Landsat 8 y 9 (OLI)

Combinación de Bandas	Aplicación
B4-B3-B2	Representación de color cercano a la realidad.
B5-B4-B3	Muy útil para la diferenciación de vegetación en tonos de verde y cuerpos de agua en azul oscuro.
B6-B5-B4	Resalta suelo desnudo, áreas urbanas y cuerpos de agua.
B7-B6-B5	Útil para estudios geológicos y diferenciación de tipos de suelo y vegetación..
B7-B6-B4	Ideal para mapear áreas agrícolas y forestales.
B5-B6-B2	Permite identificar cultivos y campos agrícolas en diversas etapas de crecimiento.

Fuente: (Jiménez, 2016)

3.6.4. Información Complementaria

Para enriquecer el análisis, se incluye información complementaria en forma de bandas adicionales (tabla 10). Esto incluye el uso de un Modelo de Elevación Digital (DEM), que ayuda a comprender las variaciones topográficas, como también los Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), Índice de Vegetación Mejorada (EVI) y Índice de Vegetación Ajustada al Suelo (SAVI), que facilita la detección de áreas vegetadas y la evaluación de su densidad. Estas bandas adicionales aportan una mayor precisión en la diferenciación de coberturas y ayudan a mejorar la exactitud de la clasificación final.

Tabla 10.

Información complementarias para la clasificación

Bandas complementarias	Formula	Descripción
NDVI	$(\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
EVI	$2.5 * ((\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + 6 * \text{RED} - 7.5 * \text{BLUE} + 1))$	Índice de Vegetación Mejorada
SAVI	$(\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED} + 0.5) * (1.5)$	Índice de Vegetación Ajustada Al Suelo
DEM	30 m de resolución espacial	variaciones topográficas

En los mapas NDVI (Figura 8 y 9), los valores oscilan entre -1 y 1, lo que indica el nivel de vegetación en la zona analizada.

1. Zonas rojas (-1 a 0):

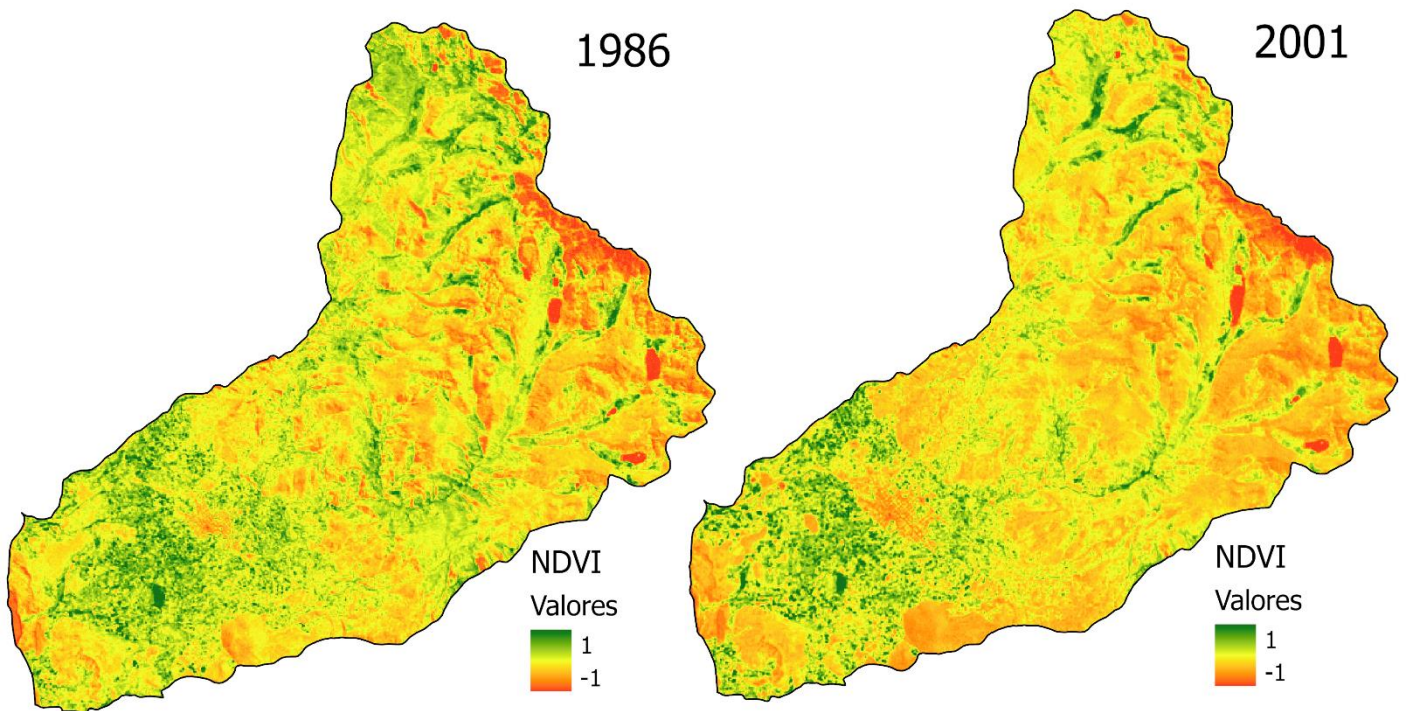
- Representan áreas con poca o ninguna vegetación.
- Pueden corresponder a superficies urbanas, suelos desnudos, cuerpos de agua o áreas degradadas.
- En el caso de agua, los valores tienden a estar cerca de -1.

2. Zonas verdes (0.2 a 1):

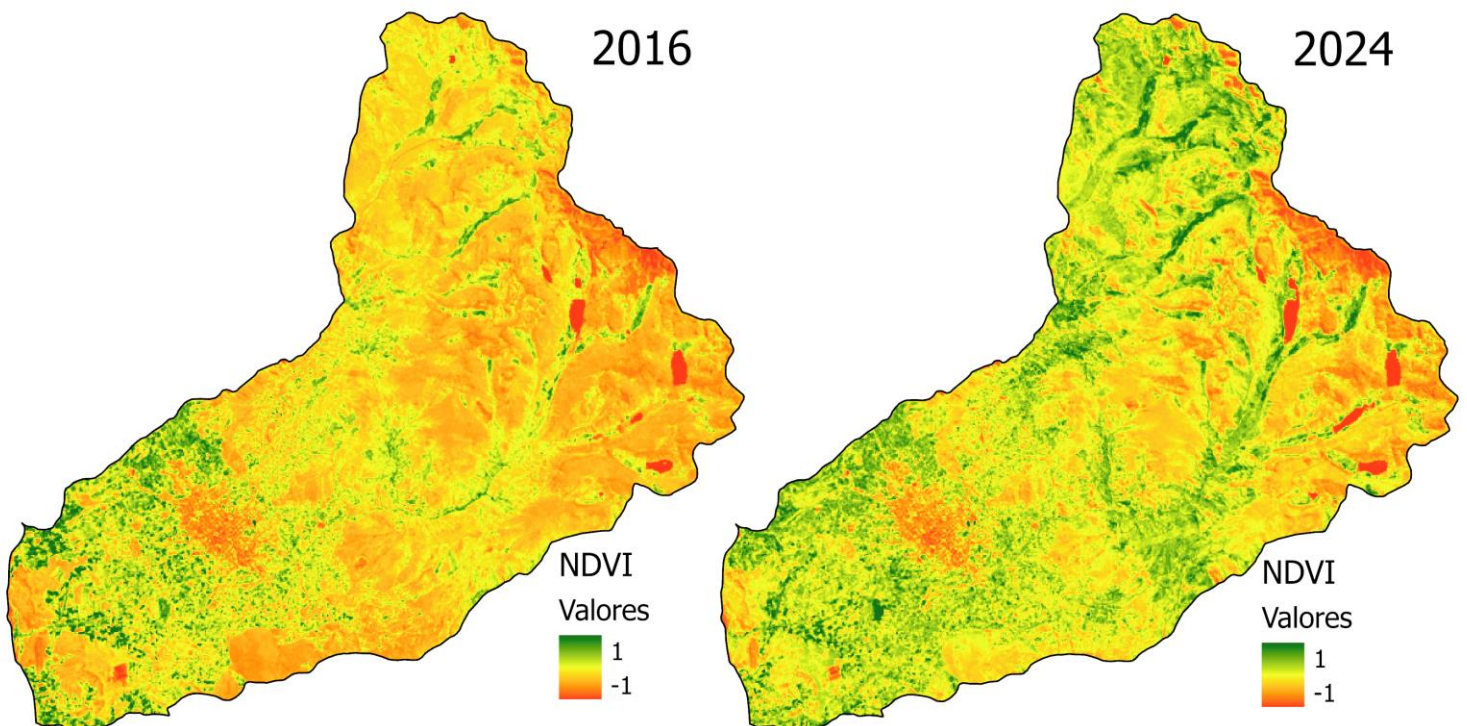
- Representan alta densidad de vegetación.
- Valores cercanos a 1 indican vegetación sana y densa, como bosques o cultivos vigorosos.
- Valores intermedios (0.2 a 0.5) pueden indicar vegetación dispersa o pastizales.

Figura 8.

NDVI de los años 1986 y 2001

**Figura 9.**

NDVI de los años 2016 y 2024

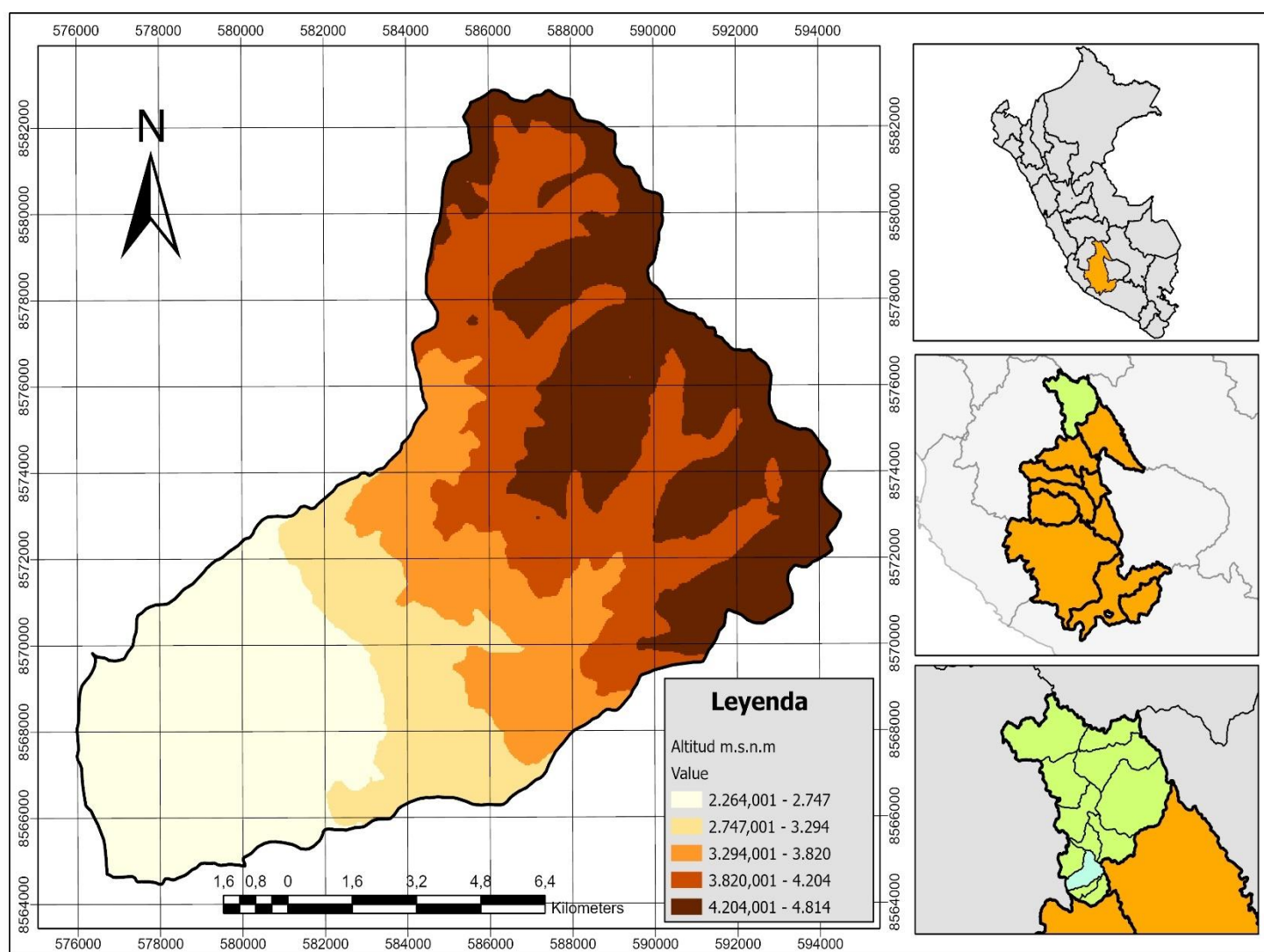


3.6.5. Segmentación

Para mejorar la precisión de la clasificación, el área de estudio en el distrito de Huanta se segmenta en tres partes: parte baja, parte media y parte alta (Figura 10). Esta segmentación es esencial, ya que permite evitar confusiones en la clasificación debido a firmas espectrales similares entre coberturas en diferentes altitudes. Al dividir la zona, se ajustan los parámetros de clasificación en cada sector, reduciendo la posibilidad de clasificar incorrectamente las coberturas, y asegurando que las diferencias en reflectancia espectral, influenciadas por la altitud, sean correctamente interpretadas.

Figura 10.

Segmentación del distrito de Huanta



3.6.6. Clasificación supervisada (Random Forest)

En esta etapa, se empieza seleccionando las áreas de entrenamiento para cada tipo de cobertura previamente identificadas, posteriormente se realiza la clasificación supervisada utilizando el algoritmo Random Forest en el software ArcGis pro, siguiendo las pautas de la metodología CORINE Land Cover adaptada para Perú, según el Ministerio del Ambiente de Perú (MINAM, 2014). Para aplicar el algoritmo de clasificación se empleó 50 árboles múltiples de decisión para identificar patrones y asignar clases de cobertura en el mapa, basándose en las características espectrales y topográficas de cada área de entrenamiento. Por último se descarga estos mapas en formato Tiff. Para su post procesamiento.

3.6.7. Validación de la Clasificación

Para la validación de la clasificación de coberturas en esta investigación se emplean diferentes métodos según el periodo histórico de las imágenes: Para los años 1986, 2001 y 2016 se utilizarán imágenes satelitales antiguas con mayor resolución espacial, fotografías históricas, y documentos previos que ofrecen información de referencia sobre la cobertura de esas épocas. Esta validación indirecta ayuda a confirmar la precisión de la clasificación mediante la comparación con evidencias documentadas y visuales existentes de esos años.

Para el año 2024, se realizará una validación en campo mediante la recolección de puntos de referencia geolocalizados en áreas clave del distrito de Huanta. Estos puntos de control se emplearán para verificar la clasificación de coberturas y uso del suelo en el mapa resultante. Esta verificación directa asegura una alta precisión en la clasificación actual, al comparar los datos del mapa con las observaciones reales obtenidas en el terreno.

3.6.8. Reclasificación de errores

Después de la clasificación supervisada viene el post procesamiento en el software Arcgis Pro, que empieza, subiendo los archivos descargados en formato Tiff. Empezando a realizar una reclasificación manual de los píxeles mal clasificados. Este paso consiste en identificar y corregir errores en aquellos píxeles cuya clasificación inicial resultó incorrecta, debido a firmas espectrales confusas o características que no fueron correctamente interpretadas por el modelo. Este ajuste se realiza utilizando herramientas de inspección visual y

filtros, lo que permite asegurar que cada clase de cobertura esté correctamente representada y alineada con la realidad observada en el área de estudio.

3.6.9. Elaboración de mapas temáticos

Una vez completada la reclasificación, se procede a la elaboración de los mapas temáticos finales de los años (1986, 2001, 2016 y 2024), con su respectiva leyenda sobre las coberturas halladas, conforme a la metodología CORINE Land Cover adaptada para Perú. Estos mapas finales representan la base para el análisis de la dinámica de cambios de cobertura y uso del suelo en el tiempo, ofreciendo una herramienta visual de gran valor para la interpretación de los resultados de la investigación.

3.6.10. Proyección para el año 2040

Para estimar la dinámica futura de la cobertura y uso del suelo en el distrito de Huanta, se aplica una proyección con cadenas de Márkov, modelando los posibles cambios hasta el año 2040. Este método de proyección se basa en la probabilidad de transición de cada clase de cobertura entre periodos ya estudiados (1986, 2001, 2016 y 2024), lo que permite prever cómo podrían evolucionar las coberturas y usos de suelo en el futuro. Estos patrones de cambios observados en años previos, permite al modelo de Markov genera una distribución probabilística de clases de cobertura que facilita identificar áreas en riesgo de transformación o que probablemente mantendrán su tipo de cobertura actual.

3.7. Análisis de datos

3.7.1. Matriz de confusión

Se utilizo una matriz de confusión para evaluar la precisión de la clasificación de coberturas y uso de suelo de los años estudiados. Esta matriz permite comparar la clasificación obtenida contra los datos de referencia (puntos de validación o fotografías históricas) y contabilizar los aciertos y errores de cada clase (Chuvieco & Moreno, 2009). A través de esta comparación, es posible cuantificar cuántas veces cada clase fue clasificada correctamente o de manera errónea, proporcionando una visión detallada de la precisión de cada clase específica (Chuvieco & Huete, 2009).

3.7.2. Índice Kappa

El índice Kappa se calculó para los cuatro años para complementar la matriz de confusión, proporcionando una medida de la concordancia entre los resultados de la clasificación y los datos de referencia. Este índice tiene en cuenta las clasificaciones correctas que se producen al azar, ofreciendo un valor de precisión ajustada. Así, el índice Kappa permite evaluar la solidez de la clasificación en relación con lo esperado bajo condiciones aleatorias, siendo un indicador importante para la validez del análisis.

3.7.3. Porcentaje correctamente clasificado

Se determinó el porcentaje de clasificación correctamente clasificado, o overall accuracy, para los cuatro años, que representa el porcentaje total de píxeles correctamente clasificados en comparación con los puntos de referencia. Proporcionando una medida global de precisión, mostrando qué tan efectivamente el modelo ha clasificado el conjunto de datos en general.

3.7.4. Matriz de transición

Para hallar los cambios de cobertura y uso de suelo, entre los años de estudio, se empleó una matriz de transición que permite diferenciar las transformaciones de las clases evaluadas, detectar cambios y realizar un análisis de los factores que conllevan a estos cambios (Pontius, 2004). Al utilizar esta matriz, puedes visualizar cómo las áreas clasificadas bajo diferentes tipos de cobertura en un período han cambiado a diferentes categorías de uso del suelo en otro período (Gutiérrez, 2016). Esto facilita la identificación de patrones y tendencias, como la conversión de áreas forestales en tierras agrícolas o urbanas, proporcionando una base sólida para interpretar la dinámica del cambio de cobertura y uso de suelo.

3.8. Presentación de Datos:

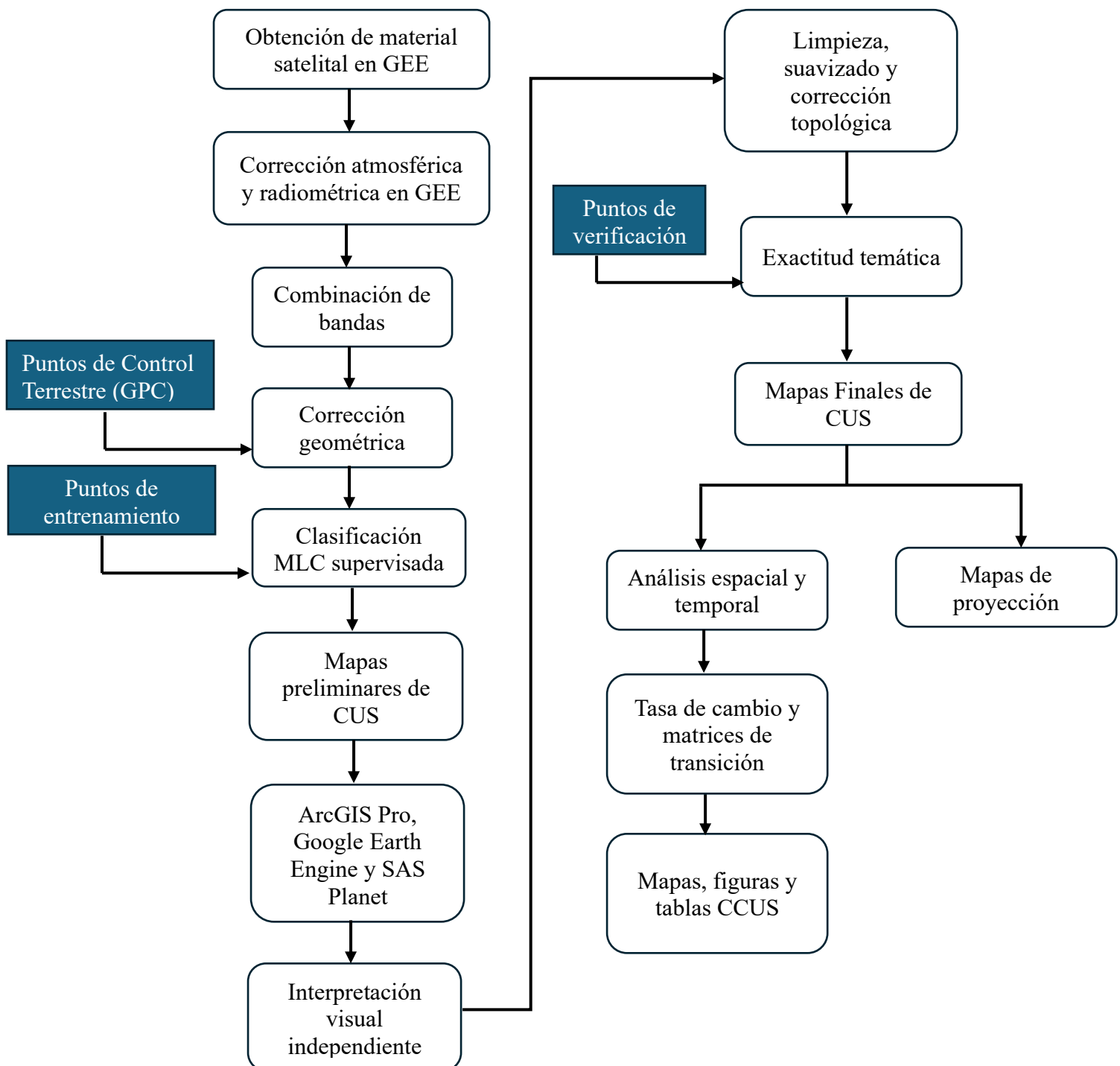
Los datos recopilados se presentarán de forma estructurada, organizados por cada año de estudio (1986, 2001, 2016 y 2024). Para cada uno de estos años, se incluirán las clases de cobertura identificadas según la metodología CORINE Land Cover, así como los mapas de clasificación correspondientes que muestran la distribución espacial de estas clases en el distrito de Huanta.

Además, se presentarán los resultados de la matriz de confusión, el índice Kappa y el porcentaje de clasificación correctamente clasificado (overall accuracy) de cada año. Estos indicadores proporcionarán una evaluación precisa de la

efectividad de la clasificación realizada, destacando la concordancia y exactitud de los resultados.

Finalmente, para cada año se incluirá un análisis detallado de los resultados, interpretando la precisión de la clasificación y examinando los patrones observados en cada clase de cobertura. Esto permitirá una visión comparativa y dinámica de los cambios en la cobertura y el uso del suelo a lo largo del tiempo.

3.9. Flujoograma Metodológico



IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. OE1. Caracterizar la distribución espacial y temporal de las clases de coberturas y los tipos de uso del suelo, en los años 1986, 2001, 2016 y 2024.

A) Caracterización de coberturas y uso del suelo (1986)

Tabla 11.

Coberturas identificadas correspondientes al año 1986

Nivel I	Nivel II	Nivel III	ID
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano	TU
	2. Áreas agrícolas	2.4. Áreas agrícolas Heterogéneas	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos
3. Bosques y áreas mayormente naturales		3.1. Bosques	
	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.3.1 Pajonal	PA
		3.3.4 Arbustos	AR
	3.4. Áreas sin o con poca vegetación	3.4.2. Afloramientos rocosos	RO
4. Áreas húmedas	4.1. Áreas Húmedas Continentales	3.4.3. Tierras desnudas	TD
		4.1.2. Bofedales	BF
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	LA

La tabla 11, ilustra la clasificación supervisada correspondiente al año 1986, habiéndose identificado 9 clases de cobertura; para lo cual, se ha empleado la metodología CORINE Land Cover, que ha permitido clasificar: cobertura de tejido urbano que corresponde al nivel III; cobertura de mosaico de pastos y cultivos que corresponde al nivel III; cobertura de bosques que pertenece al nivel II; cobertura pajonal que corresponde al nivel III; cobertura arbustos que corresponde al nivel III; cobertura afloramiento rocosos que corresponde al nivel III, Tierras desnudas que corresponde al nivel III, cobertura bofedales que corresponde al nivel III y cobertura lagos que corresponde al nivel III.

Tabla 12.

Superficie de clases de cobertura correspondiente al año 1986

Clases	Superficie (ha)	Superficie (%)
Tejido urbano	179.08	1.09
Mosaico de pastos y cultivos	2,549.78	15.48
Bosques	162.70	0.99
Pajonal	4,393.17	26.67
Arbustos	5,069.83	30.78
Afloramientos rocosos	2,897.55	17.59
Tierras desnudas	65.38	0.40
Bofedales	1,087.96	6.61
Lagos	64.79	0.39
Total	16,470.24	100

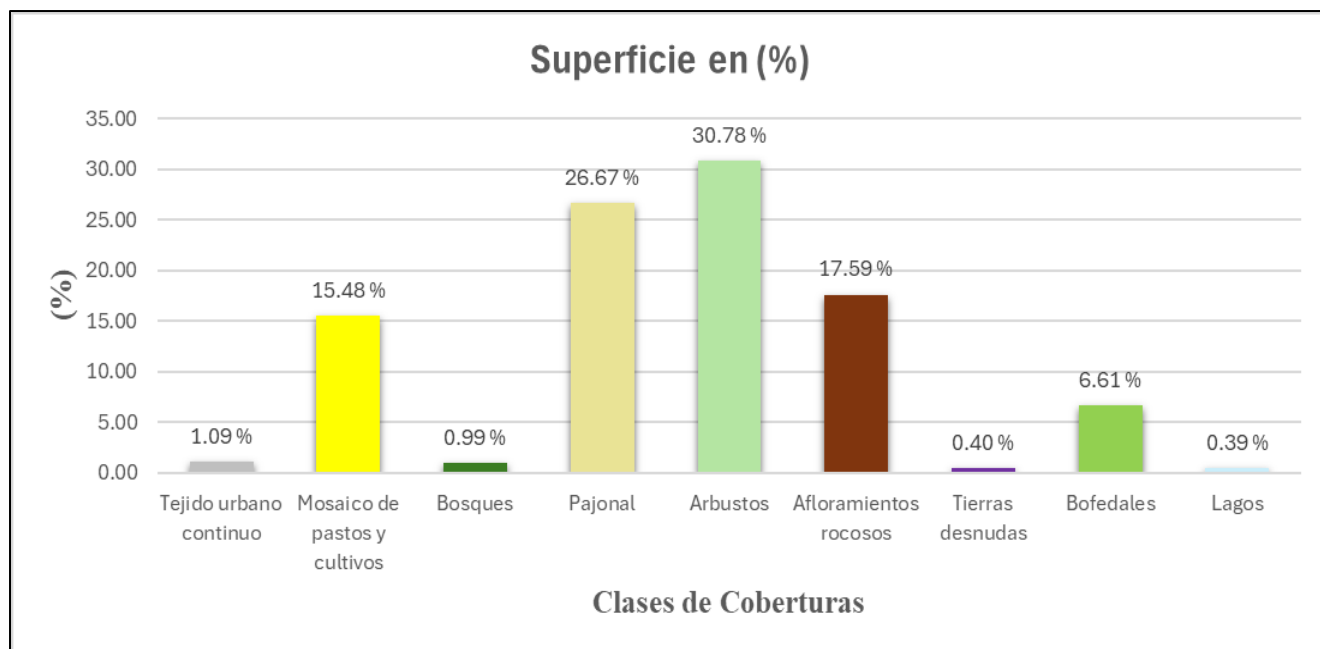
La tabla 12 puntualiza la extensión en hectáreas de cada clase de cobertura y uso de suelo en el área de estudio de la siguiente forma: Tejido Urbano (TU) ocupa 179.08 hectáreas, reflejando las áreas urbanizadas con una infraestructura densa, Mosaico de Pastos y Cultivos (PC) abarca 2,549.78 hectáreas, representado las zonas donde coexisten áreas de pastoreo y cultivos, Bosques (BO), cubren 162.70 hectáreas, destacando la presencia de vegetación arbórea en el paisaje.

Pajonal (PA), comprende 4393.17 hectáreas, indicando una amplia proliferación en parte de mayor altitud del distrito, Arbustos (AR) cubren 5,069.83 hectáreas, siendo la cobertura con más extensión significativa en el área de estudio. Afloramientos Rocosos (RO) se extiende por 2,897.55 hectáreas, cubriendo zonas de formaciones rocosas visibles en el terreno. Tierras Desnudas (TD) abarcan 65.38 hectáreas, reflejando áreas sin cobertura vegetal significativa.

Bofedales (BF) cubren 1,087.96 hectáreas, correspondientes a humedales altoandinos y Lagos (LA) ocupan 64.79 hectáreas, que incluyen cuerpos de agua naturales permanentes.

Figura 11.

Superficie porcentual de coberturas del año 1986



Los datos consignados en la figura 11, corrobora a la descripción mostrada en la tabla 12 en términos porcentuales de las diferentes clases de cobertura y uso de suelo identificadas en el área de estudio del distrito de Huanta que abarca una extensión de 16,470 ha. A partir del gráfico, se observa que la clase "Arbustos" ocupa la mayor superficie, con 30.78 %, seguida de la cobertura pajonal con 26.67 % y la cobertura de afloramientos rocosos con 17.59 % del total de superficie. Por otro lado, clases como tejido urbano, bosques, tierras desnudas y Lagos presentan una superficie menor, con 1.09 %, 0.99 %, 0.40 % y 0.39 %, respectivamente.

Tabla 13.

Matriz de confusión de 1986

Clase	TU	PC	BO	PA	AR	RO	TD	BF	LA	Total	Evaluación de precisión del usuario
TU	8	0	0	0	2	0	0	0	0	10	0.80
PC	0	75	0	0	2	0	0	0	0	77	0.97
BO	0	0	6	0	10	0	0	0	0	16	0.30
PA	0	0	0	112	14	6	0	1	0	133	0.84
AR	1	5	0	0	140	0	2	0	0	148	0.95
RO	0	0	0	6	0	81	0	1	0	88	0.92
TD	0	0	0	0	0	0	10	0	0	10	1
BF	0	0	0	1	0	1	0	31	0	33	0.94
LA	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	1
Total	9	80	6	119	168	88	12	33	10	525	
Evaluación de precisión del productor	0.89	0.94	0.83	0.94	0.84	0.92	0.83	0.94	1		E. P. Global 0.90

La matriz de confusión presentada en la Tabla 13 muestra los siguientes resultados: la clase tejido urbano clasificó correctamente 8 áreas de muestreo, mientras que 2 áreas fueron asignados erróneamente a la clase arbustos, logrando una precisión del usuario del 0.80. La clase pastos y cultivos identificó correctamente 75 áreas, pero clasificó incorrectamente 2 áreas como arbustos, obteniendo una precisión del usuario 0,97. En cuanto a la clase bosques, 6 áreas fueron clasificadas correctamente, y 10 áreas fue erróneamente asignada a la clase arbustos, alcanzando una precisión del 0,30.

La clase pajonal registró 112 áreas correctamente clasificadas, mientras que 14 áreas fue asignada erróneamente a arbustos, 1 área a bofedales y otras 6 a afloramientos rocosos, logrando una precisión del 0,84. Por otro lado, la clase arbustos clasificó correctamente 140 áreas, con 1 área asignada erróneamente a tejido urbano, 5 áreas a pastos y cultivos y 2 a tierras desnudas, alcanzando una precisión del 0.95. La clase afloramientos rocosos identificó correctamente las 81 áreas de muestreo evaluadas, mientras que 6 áreas fueron erróneamente asignados a la clase pajonal y 1 área a la clase bofedal, obteniendo una precisión del 0.92. La clases tierras desnudas clasifico

correctamente todas sus áreas de muestreo, alcanzando una precisión del 1. La clase Bofedal clasifico correctamente 31 áreas, mientras que erro 1 área de la clase pajonal y 1 de afloramiento rocosos, resultando una precisión del 0.94. Finalmente, la clase lagos clasificó correctamente 10 áreas, resultando en una precisión del 1. Estos resultados evidencian variaciones significativas en la precisión de clasificación entre las distintas clases evaluadas.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la matriz de confusión, se determinó la fuerza de concordancia a través del índice kappa

$$P_0 = \frac{(8 + 75 + 6 + 112 + 140 + 81 + 10 + 31 + 10)}{525} = 0.90$$

$$P_e = \frac{(9 * 10) + (80 * 77) + (6 * 16) + (119 * 133) + (168 * 148) + (88 * 88) + (12 * 10) + (33 * 33) + (10 * 10)}{525 * 525} = 0.20$$

$$K = \frac{(0.90 - 0.20)}{(1 - 0.20)} = 0.89$$

De acuerdo a este resultado $k=0.89$, se concluye en que, la fuerza de concordancia entre la clasificación de áreas ejecutadas por el supervisor y el software ArcGIS Pro se ubica a nivel *casi perfecta*.

Porcentaje correctamente clasificado

De acuerdo a los resultados obtenidos en la matriz de confusión, se determinó el porcentaje correctamente clasificado

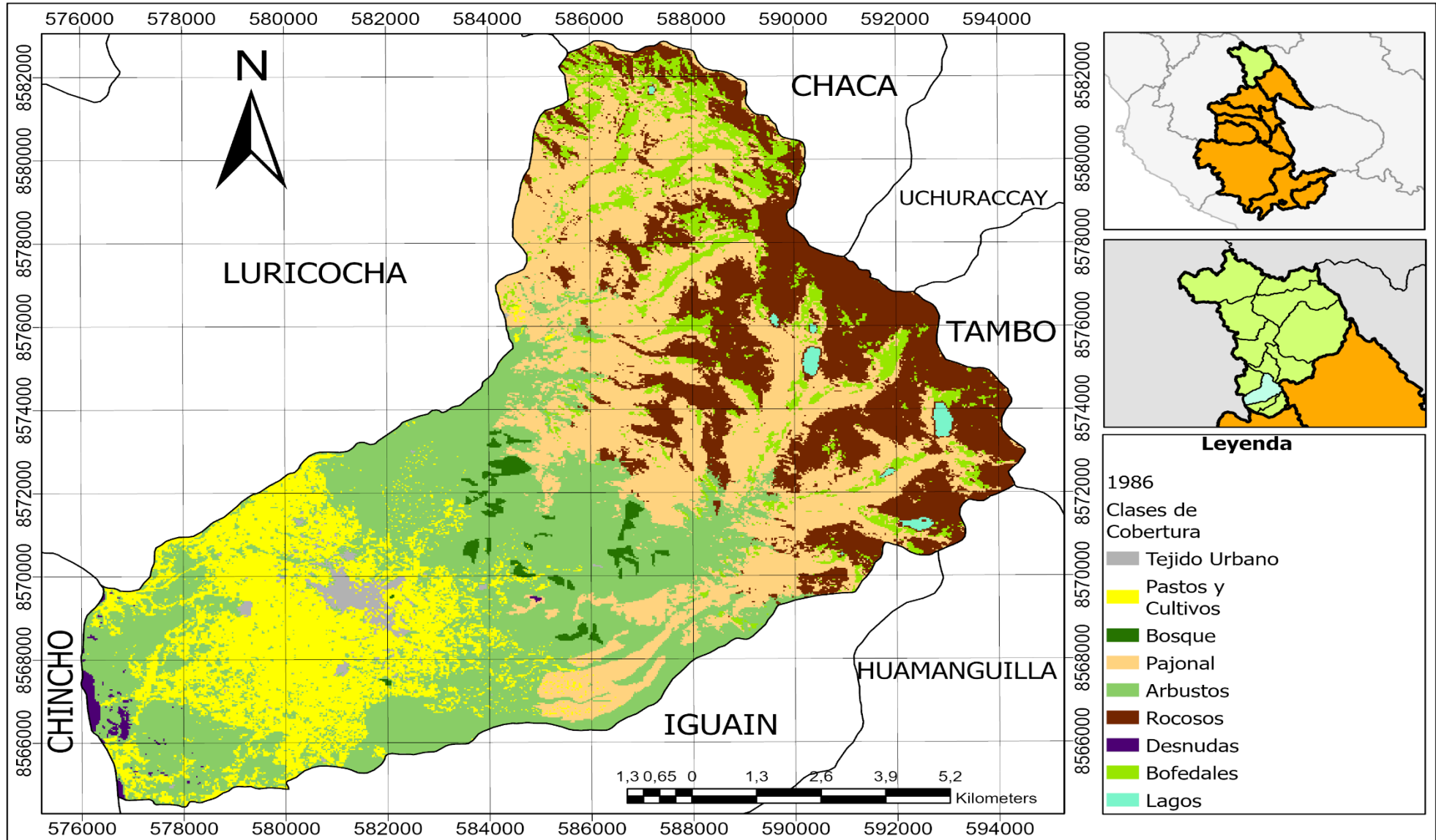
$$pcc = \frac{473}{525} * 100 \%$$

$$pcc = 90.09 \%$$

La métrica de precisión PCC nos da un valor de 90.09 %, del mapa CUS 1986 (Figura 12), lo cual indica que el modelo Random Forest tiene una muy buena correlación con la realidad.

Figura 12.

Mapa de Clasificación Supervisada de 1986



B) Caracterización de coberturas y uso del suelo (2001)

Tabla 14.

Niveles Corine Land Cover Encontrados en 2001

Nivel I	Nivel II	Nivel III	ID
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido Urbano	TU
2. Áreas agrícolas	2.4. Áreas agrícolas Heterogéneas	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	PC
	3.1. Bosques		BO
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.3.1 Pajonal	PA
		3.3.4 Arbustos	AR
	3.4. Áreas sin o con poca vegetación	3.4.2. Afloramientos rocosos	RO
4. Áreas húmedas	4.1. Áreas Húmedas Continentales	3.4.3. Tierras desnudas	TD
		4.1.2. Bofedales	BF
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	LA

De acuerdo a la tabla 14, se realizó la clasificación supervisada para el año 2001 lográndose identificar 9 clases de cobertura; para lo cual, se ha empleado la metodología CORINE Land Cover, que ha permitido clasificar: cobertura de tejido urbano que corresponde al nivel III; cobertura de mosaico de pastos y cultivos que corresponde al nivel III; cobertura de bosques que pertenece al nivel II; cobertura pajonal que corresponde al nivel III; cobertura arbustos que corresponde al nivel III; cobertura afloramiento rocosos que corresponde al nivel III, Tierras desnudas que corresponde al nivel III, cobertura bofedales que corresponde al nivel III y cobertura lagos que corresponde al nivel III.

Tabla 15.

Superficie de clases de cobertura de 2001

Clases	Superficie (ha)	Superficie (%)
Tejido urbano continuo	336.19	2.04
Mosaico de pastos y cultivos	3,712.62	22.54
Bosques	86.15	0.52
Pajonal	4,369.26	26.53
Arbustos	3,866.62	23.48
Afloramientos rocosos	2,804.85	17.03
Tierras desnudas	101.56	0.62
Bofedales	1,116.66	6.78
Lagos	76.3	0.46
Total	16,470.21	100

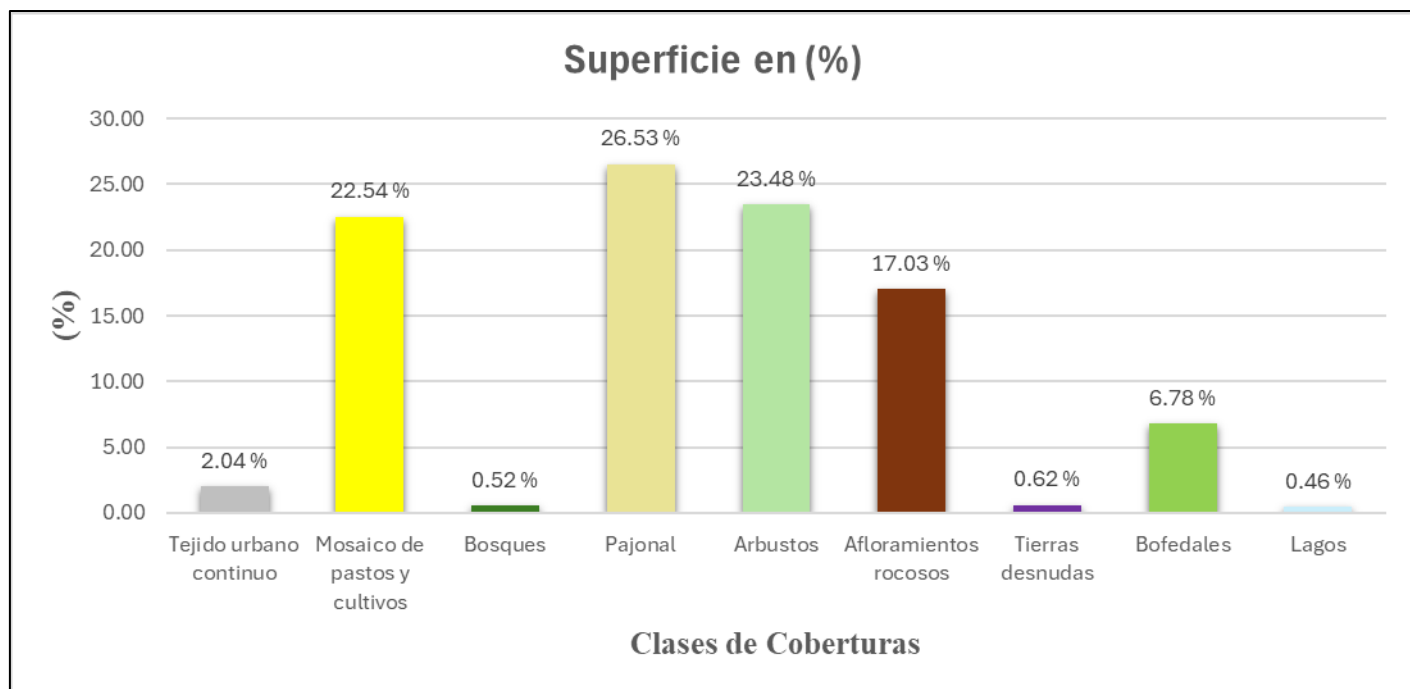
En la Tabla 15 se detalla la extensión en hectáreas de las distintas clases de cobertura y uso de suelo en el área de estudio de la siguiente manera: el Tejido Urbano (TU) ocupa 336,19 hectáreas, representando zonas urbanizadas con infraestructura densa. El Mosaico de Pastos y Cultivos (PC) abarca 3,712.62 hectáreas, evidenciando la coexistencia de áreas destinadas al pastoreo y al cultivo. La clase Bosques (BO) cubre 86,15 hectáreas, destacando la presencia de vegetación arbórea.

El Pajonal (PA) comprende 4,369.26 hectáreas, constituyéndose como una de las coberturas más extensas en el área de estudio. Por su parte, los Arbustos (AR) representan la mayor cobertura, con 3,866.62 hectáreas, indicando una amplia distribución de vegetación arbustiva. Los Afloramientos Rocosos (RO) se extienden por 2,804.85 hectáreas, predominando en zonas con formaciones rocosas visibles.

Las Tierras Desnudas (TD) abarcan 101,56 hectáreas, reflejando áreas sin cobertura vegetal significativa. Los Bofedales (BF) cubren 1,116.66 hectáreas, correspondientes a humedales altoandinos, mientras que los Lagos (LA) ocupan 76,3 hectáreas, comprendiendo cuerpos de agua naturales permanentes. Estos datos reflejan la diversidad y distribución espacial de las coberturas dentro del área analizada.

Figura 13.

Histograma de superficie (%) de coberturas de 2001



En la figura 13 muestra la superficie (%) de las diferentes clases de cobertura y uso de suelo identificadas en el área de estudio del distrito de Huanta que abarca una extensión de 16,470 ha. A partir del gráfico, se observa que la clase "Pajonal" ocupa la mayor superficie, con 26.53 %, seguida de la cobertura de "Arbustos" con 23.48 % y Pastos y Cultivos con 22.54 % del total de superficie. Por otro lado clases como tejido urbano, bosques, tierras desnudas y Lagos presentan una superficie menor, con 2.04 %, 0.52 %, 0.62 % y 0.46 %, respectivamente.

Tabla 16.

Matriz de confusión de 2001

Clase	TU	PC	BO	PA	AR	RO	TD	BF	LA	Total	Evaluación de precisión del usuario
TU	8	1	0	0	1	0	0	0	0	10	0.80
PC	0	109	0	2	1	0	1	0	0	113	0.96
BO	0	1	5	0	9	0	0	0	0	15	0.30
PA	0	0	0	116	8	3	0	1	0	128	0.91
AR	5	3	0	2	107	0	0	0	0	117	0.91
RO	0	0	0	1	0	84	0	0	0	85	0.99
TD	1	0	0	0	0	0	9	0	0	10	0.90
BF	0	0	0	1	0	0	0	33	0	34	0.97
LA	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	1
Total	14	114	5	122	126	87	10	34	10	522	
Evaluación de precisión del productor	0.57	0.96	0.96	0.95	0.85	0.96	0.90	0.97	1		E. P. Global 0.92

De acuerdo a la matriz de confusión mostrada en la tabla 16, se percibe que, dentro de la clase tejido urbano se clasificó correctamente 8 áreas, mientras que 1 área de pastos y cultivos y 1 área de arbustos fueron erróneamente clasificados, lo cual refleja una evaluación con una precisión del 0.80. La clase Pastos y cultivos clasifico 109 áreas correctamente, confundiendo 2 área de pastos, 1 área de arbustos 1 área de tierras desnudas, con una precisión del 0.96. La clase bosques clasifico 5 áreas correctamente y se confundió con 1 área de pastos y cultivos y 9 áreas de arbustos, obteniendo una precisión del 0.30.

Respecto a la clase pajonal se clasifico correctamente 116 áreas y confundió 8 áreas de arbustos, 3 de afloramiento rocosos y 1 de bofedal, obteniendo así una precisión de evaluación del 0.91. La clase arbustos clasifico correctamente 107 áreas de muestro, confundándose con 5 áreas de tejido urbano, 3 áreas de pastos y cultivos y 2 de pajonal, obteniendo así una precisión de evaluación del 0,91.

La clase afloramiento rocosos clasificó correctamente 84 áreas de muestreo, mientras que 1 área fueron confundido con la clase pajonal alcanzando una precisión del 0,99. La clase tierras desnudas identificó correctamente 9 áreas, mientras que 1 área fueron asignadas erróneamente a la tejido urbano, logrando una precisión del 0,90.

Por otro lado, la clase bofedales clasificó 33 áreas de muestreo correctamente, confundiendo 1 área con la clase pajonal, obteniendo una precisión del 0.97. Finalmente, la clase lagos identificó correctamente las 10 áreas de muestreo evaluadas, sin errores de clasificación, alcanzando también una precisión del 100 %. Estos resultados reflejan niveles variables de precisión en la clasificación de las distintas categorías de cobertura y uso de suelo.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la matriz de confusión, se determinó la fuerza de concordancia a través del índice kappa.

$$P_0 = \frac{(8 + 109 + 5 + 116 + 107 + 84 + 9 + 33 + 10)}{522} = 0.92$$

$$P_e = \frac{(14 * 10) + (114 * 113) + (5 * 15) + (122 * 128) + (126 * 117) + (87 * 85) + (10 * 10) + (34 * 34) + (10 * 10)}{522 * 522} = 0.19$$

$$K = \frac{(0.92 - 0.19)}{(1 - 0.19)} = 0.90$$

De acuerdo a este resultado $k=0.90$, se concluye en que, la fuerza de concordancia entre la clasificación de áreas ejecutadas por el supervisor y el software ArcGIS Pro se ubica a nivel *casi perfecta*.

Porcentaje correctamente clasificado

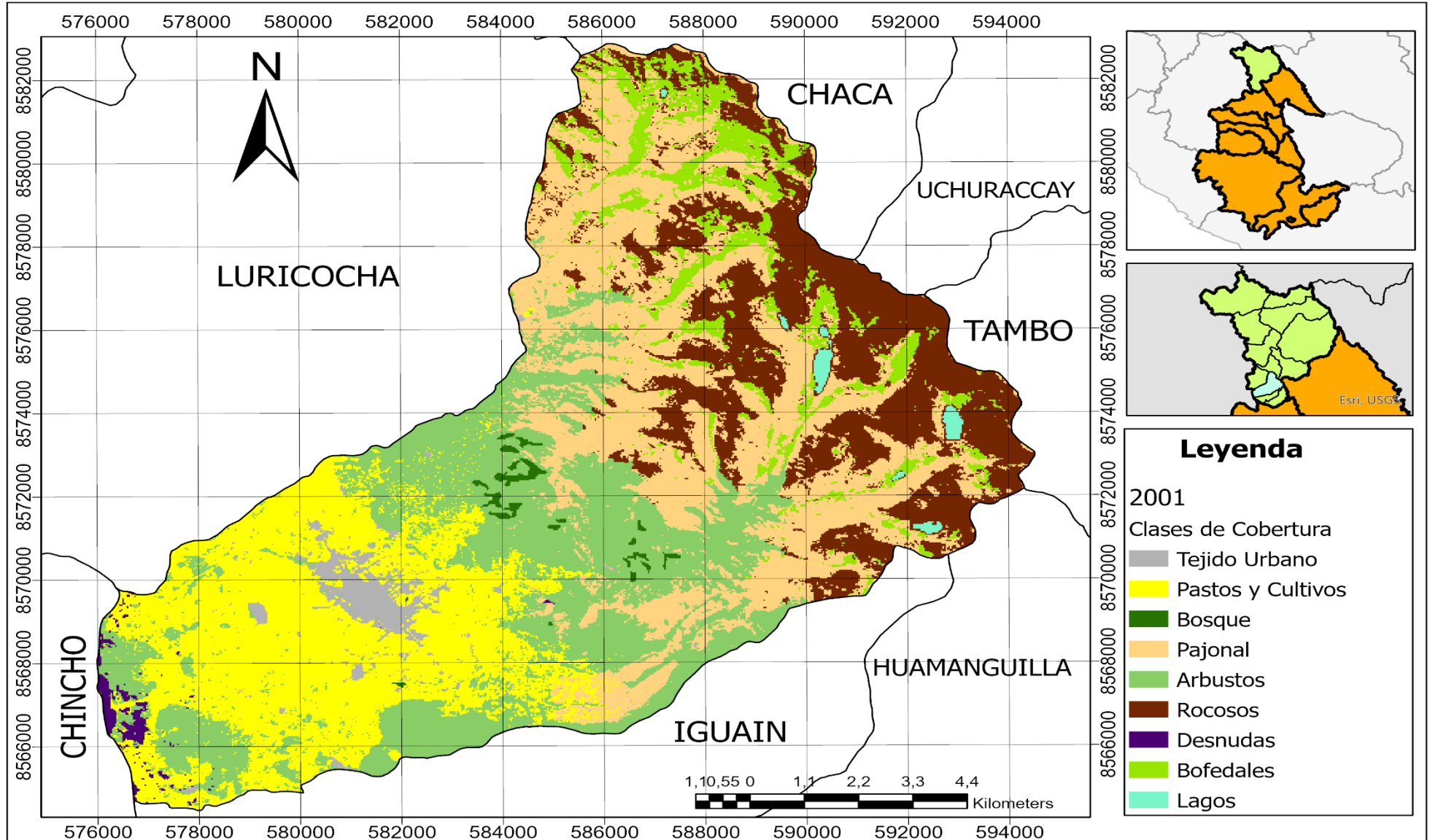
$$pcc = \frac{481}{522} * 100 \%$$

$$pcc = 92.14 \%$$

La métrica de precisión PCC nos da un valor de 92.14 %, del mapa CUS 2001 (Figura 14), lo cual indica que el modelo Random Forest tiene una muy buena correlación con la realidad.

Figura 14.

Mapa de Clasificación Supervisada de 2001



C) Caracterización de coberturas y uso del suelo (2016)

Tabla 17.

Niveles Corine Land Cover Encontrados en 2016

Nivel I	Nivel II	Nivel III	ID
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido Urbano	TU
2. Áreas agrícolas	2.4. Áreas agrícolas Heterogéneas	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	PC
	3.1. Bosques		BO
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.3.1 Pajonal	PA
		3.3.4 Arbustos	AR
	3.4. Áreas sin o con poca vegetación	3.4.2. Afloramientos rocosos	RO
4. Áreas húmedas	4.1. Áreas Húmedas Continentales	3.4.3. Tierras desnudas	TD
		4.1.2. Bofedales	BF
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	LA
		5.1.5. Cuerpos de agua artificiales	CA

De acuerdo a la tabla 17, se realizó la clasificación supervisada para el año 2016 lográndose identificar 10 clases de cobertura; para lo cual, se ha empleado la metodología CORINE Land Cover, que ha permitido clasificar: cobertura de tejido urbano que corresponde al nivel III; cobertura de mosaico de pastos y cultivos que corresponde al nivel III; cobertura de bosques que pertenece al nivel II; cobertura pajonal que corresponde al nivel III; cobertura arbustos que corresponde al nivel III; cobertura afloramiento rocosos que corresponde al nivel III, Tierras desnudas que corresponde al nivel III, cobertura bofedales que corresponde al nivel III; cobertura lagos que corresponde al nivel III y cobertura de Agua Artificial que corresponde al nivel III.

Tabla 18.

Superficie de clases de cobertura de 2016

Clases	Superficie (ha)	Superficie (%)
Tejido urbano continuo	645.18	3.92
Mosaico de pastos y cultivos	4,352.23	26.42
Bosques	111.96	0.68
Pajonal	3,458.59	21.00
Arbustos	3,284.91	19.94
Afloramientos rocosos	3,456.45	20.99
Tierras desnudas	65.56	0.40
Bofedales	1,009.29	6.13
Lagos	75.43	0.46
Cuerpos de Agua Artificial	10.64	0.06
Total	16,470.24	100

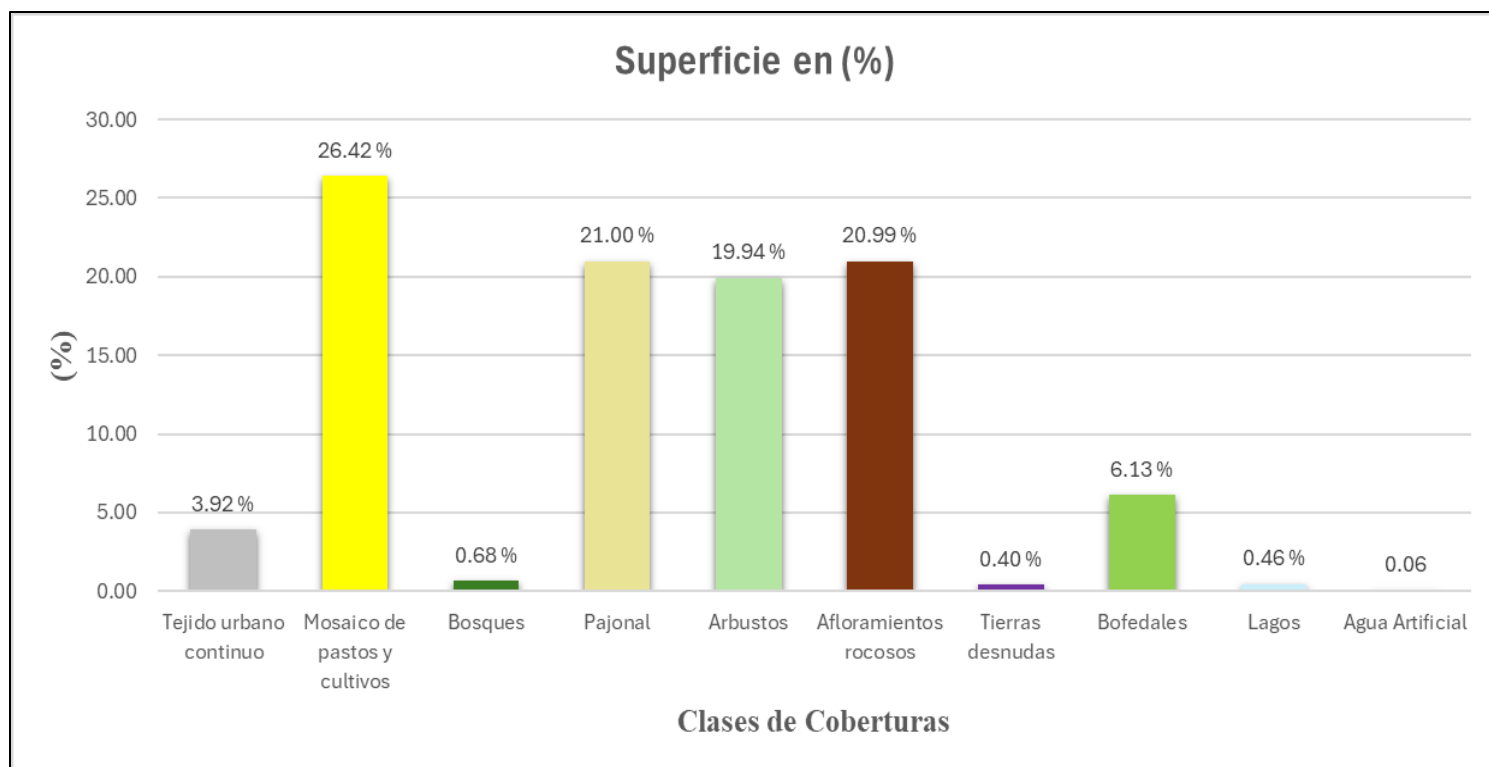
En la Tabla 18 se presenta la extensión en hectáreas de las diferentes clases de cobertura y uso de suelo en el área de estudio, detalladas de la siguiente manera: el Tejido Urbano (TU) abarca 645,18 hectáreas, representando las áreas urbanizadas con infraestructura densa. El Mosaico de Pastos y Cultivos (PC) ocupa 4,352.23 hectáreas, siendo la cobertura más extensa en el área de estudio, que evidencia la coexistencia de áreas de pastoreo y cultivos. La clase Bosques (BO) cubre 111,96 hectáreas, destacando la presencia de vegetación arbórea.

El Pajonal (PA) se extiende por 3,458.59 hectáreas, representando terrenos dominados por pajón. Los Arbustos (AR) abarcan 3,284.91 hectáreas, siendo una de las coberturas con mayor distribución de vegetación arbustiva. Los Afloramientos Rocosos (RO) suman 3,456.45 hectáreas, correspondientes a zonas con formaciones rocosas visibles.

Por su parte, las Tierras Desnudas (TD) cubren 65,56 hectáreas, reflejando áreas sin cobertura vegetal significativa. Los Bofedales (BF) comprenden 1,009.29 hectáreas, asociadas a humedales altoandinos. La clase Lagos (LA) ocupa 75.43 hectáreas, incluyendo cuerpos de agua naturales permanentes, mientras que los Cuerpos de Agua Artificial (CA) representan 10.64 hectáreas, correspondientes a zonas con aguas servidas.

Figura 15.

Histograma de superficie (%) de coberturas de 2016



En la figura 15 muestra la superficie (%) de las diferentes clases de cobertura y uso de suelo identificadas en el área de estudio del distrito de Huanta que abarca una extensión de 16,470 ha. A partir del gráfico, se observa que la clase "Mosaico de Pastos y Cultivos" ocupa la mayor superficie, con 26.42 %, seguida de la cobertura de Pajonal con 21.00 % y afloramiento rocosos con 20.99 % del total de superficie. Por otro lado, clases como Bosques, Tierras desnudas, Lagos y Cuerpos de Agua Artificial presentan una superficie menor, con 0.68 %, 0.40 %, 0.46 % y 0.06 % respectivamente.

Tabla 19.

Matriz de confusión de 2016.

Clase	TU	PC	BO	PA	AR	RO	TD	BF	LA	CA	Total	Evaluación de precisión del usuario
TU	13	5	0	0	2	0	0	0	0	0	20	0.65
PC	0	114	0	2	16	0	0	0	0	0	132	0.83
BO	0	0	5	0	10	0	0	0	0	0	15	0.30
PA	0	2	0	103	0	0	0	0	0	0	105	0.98
AR	2	3	0	0	90	0	0	0	0	0	95	0.95
RO	0	0	0	0	0	105	0	0	0	0	105	1
TD	0	1	0	0	0	0	9	0	0	0	10	0.90
BF	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	31	1
LA	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	10	1
CA	7	0	0	0	0	0	0	0	0	3	10	0.30
Total	22	125	5	105	118	105	9	31	10	3	533	
E. P. del productor	0.59	0.91	0.98	0.98	0.77	1	1	1	1	1		E. P. Global 0.91

La matriz de confusión generada a partir de la clasificación supervisada mediante el modelo Random Forest para el año 2016 que se puede observar en la Tabla 19, arroja los siguientes resultados: la clase Tejido Urbano clasificó correctamente 13 áreas de muestreo, mientras que 5 áreas de Pastos y Cultivos y 2 áreas de arbustos fueron clasificadas erróneamente, alcanzando una precisión del 0.65. La clase Pastos y Cultivos identificó correctamente 114 áreas, aunque 2 áreas de Pajonal y 16 áreas de Arbustos fueron mal clasificadas, logrando una precisión del 0.83. Por su parte, la clase Bosques clasificó correctamente 5 áreas, mientras que 10 áreas de arbustos fueron erróneamente clasificados, obteniendo una precisión del 0.30.

La clase Pajonal registró 103 áreas correctamente clasificadas, mientras que 2 áreas fueron confundidas con la clase Pastos y cultivos, logrando una precisión del 0.98. La clase Arbustos clasificó correctamente 90 áreas, pero 2 áreas de Tejido Urbano y 3 áreas de Pastos y Cultivos fueron clasificadas erróneamente, alcanzando una precisión del 0.95. La clase Afloramientos

Rocosos identificó correctamente 105 áreas, sin confundirse con ninguna clase, logrando una precisión del 1.

En cuanto a la clase Tierras Desnudas, se clasificaron correctamente 9 áreas, mientras que 1 área fue confundida con Pastos y Cultivos, obteniendo una precisión del 0.90. La clase Bofedales identificó correctamente las 31 áreas evaluadas, sin confusión con otras clases, alcanzando una precisión del 1. De igual forma, la clase Lagos clasificó correctamente las 10 áreas sin errores, logrando una precisión del 1. Por último la clase Agua Artificial clasifico 3 áreas correctamente y confundió 7 áreas con la clase tejido urbano.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la matriz de confusión, se determinó la fuerza de concordancia a través del índice kappa.

$$P_0 = \frac{(13 + 114 + 5 + 103 + 90 + 105 + 9 + 31 + 10 + 3)}{533} = 0.91$$

$$P_e = \frac{(22 * 20) + (125 * 132) + (5 * 15) + (105 * 105) + (118 * 95) + (105 * 105) + (9 * 10) + (31 * 31) + (10 * 10) + (3 * 10)}{533 * 533} = 0.18$$

$$K = \frac{(0.91 - 0.18)}{(1 - 0.18)} = 0.89$$

De acuerdo a este resultado $k=0.89$, se concluye en que, la fuerza de concordancia entre la clasificación de áreas ejecutadas por el supervisor y el software ArcGIS Pro se ubica a nivel *casi perfecta*.

Porcentaje correctamente clasificado

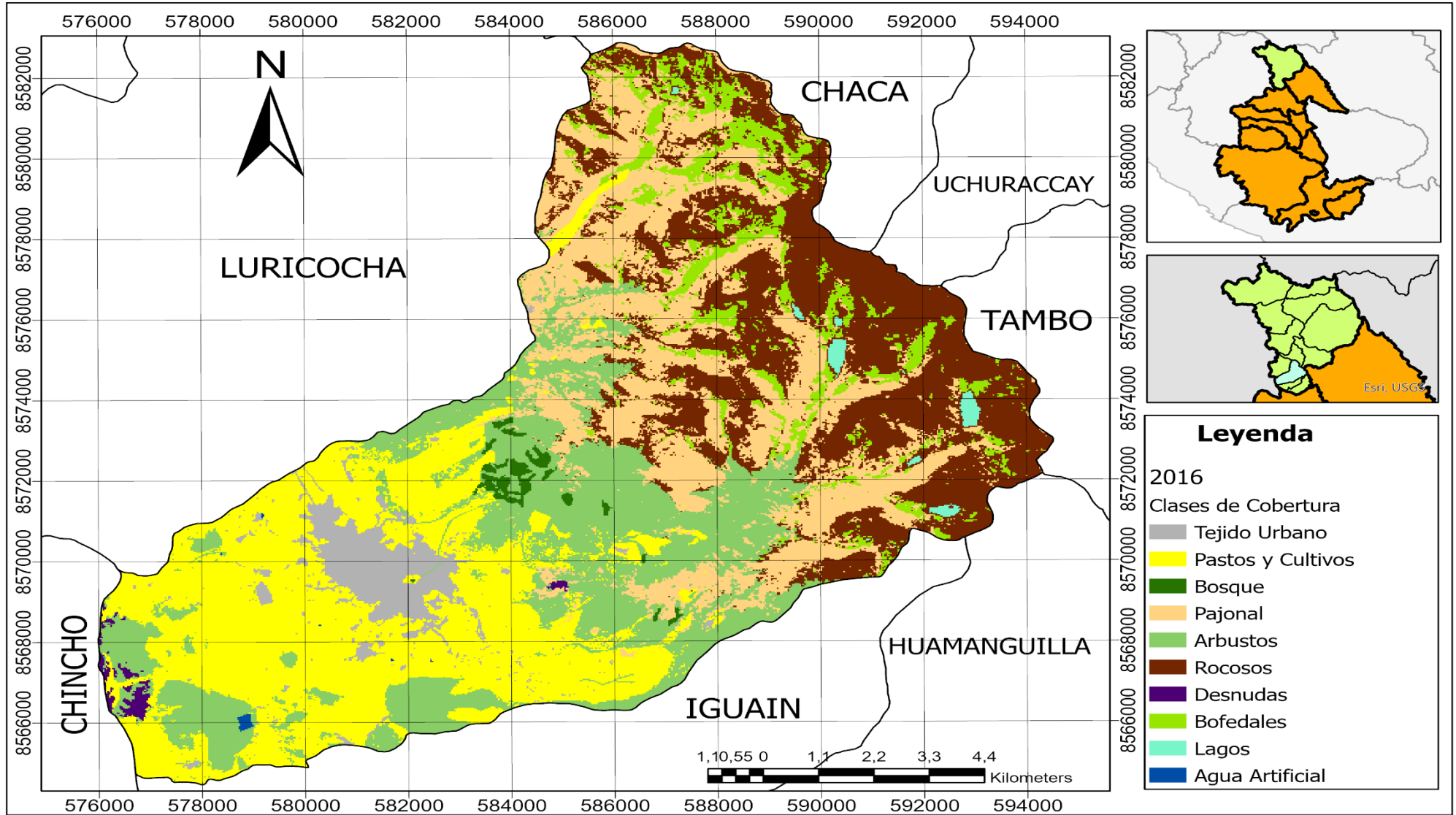
$$pcc = \frac{483}{533} * 100 \%$$

$$pcc = 90.62 \%$$

La métrica de precisión PCC nos da un valor de 90.62 %, del mapa CUS 2016 (Figura 16), lo cual indica que el modelo Random Forest tiene una muy buena correlación con la realidad.

Figura 16.

Mapa de Clasificación Supervisada de 2016



D) Caracterización de coberturas y uso del suelo (2024)

Tabla 20.

Niveles Corine Land Cover Encontrados en 2024

Nivel I	Nivel II	Nivel III	ID
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido Urbano	TU
2. Áreas agrícolas	2.4. Áreas agrícolas Heterogéneas	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	PC
	3.1. Bosques		BO
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.3.1 Pajonal	PA
		3.3.4 Arbustos	AR
	3.4. Áreas sin o con poca vegetación	3.4.2. Afloramientos rocosos	RO
4. Áreas húmedas	4.1. Áreas Húmedas Continentales	3.4.3. Tierras desnudas	TD
		4.1.2. Bofedales	BF
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	LA
		5.1.5. Cuerpos de agua artificiales	CA

De acuerdo a la tabla 20, se realizó la clasificación supervisada para el año 2001 lográndose identificar 10 clases de cobertura; para lo cual, se ha empleado la metodología CORINE Land Cover, que ha permitido clasificar: cobertura de tejido urbano que corresponde al nivel III; cobertura de mosaico de pastos y cultivos que corresponde al nivel III; cobertura de bosques que pertenece al nivel II; cobertura pajonal que corresponde al nivel III; cobertura arbustos que corresponde al nivel III; cobertura afloramiento rocosos que corresponde al nivel III, Tierras desnudas que corresponde al nivel III, cobertura bofedales que corresponde al nivel III; cobertura lagos que corresponde al nivel III y cobertura de Agua Artificial que corresponde al nivel III.

Tabla 21.

Superficie de clases de cobertura de 2024

Clases	Superficie (ha)	Superficie (%)
Tejido urbano continuo	701.51	4.26
Mosaico de pastos y cultivos	4,739.12	28.77
Bosques	238.47	1.45
Pajonal	3,580.12	21.74
Arbustos	2,752.96	16.71
Afloramientos rocosos	2,988.83	18.15
Tierras desnudas	52.57	0.32
Bofedales	1309.39	7.95
Lagos	95.83	0.58
Cuerpos de Agua Artificial	11.42	0.07
Total	16,470.22	100

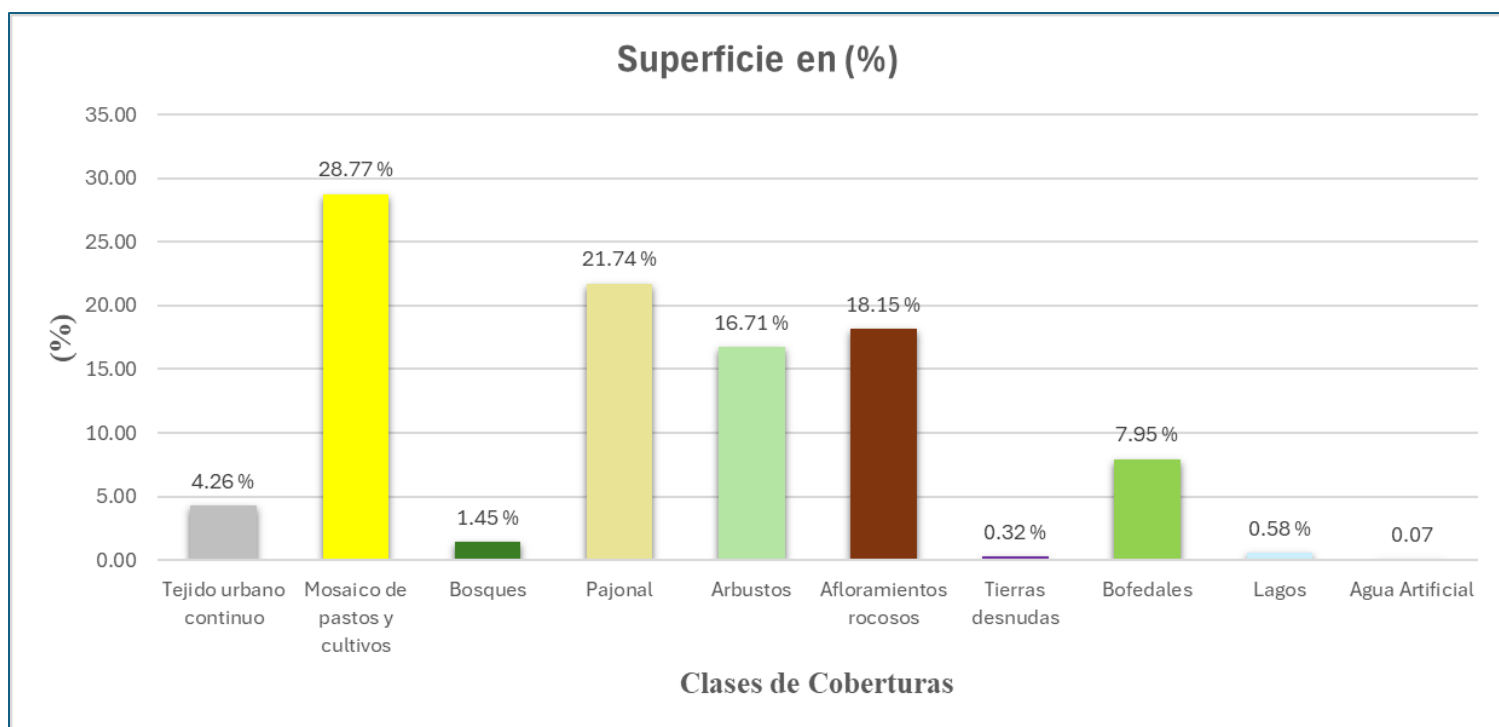
En la Tabla 21 se presenta la extensión en hectáreas de las diferentes clases de cobertura y uso de suelo en el área de estudio, detalladas de la siguiente manera: el Tejido Urbano (TU) abarca 701,51 hectáreas, representando las áreas urbanizadas con infraestructura densa. El Mosaico de Pastos y Cultivos (PC) ocupa 4,739.12 hectáreas, siendo la cobertura más extensa en el área de estudio, que evidencia la coexistencia de áreas de pastoreo y cultivos. La clase Bosques (BO) cubre 238.47 hectáreas, destacando la presencia de vegetación arbórea.

El Pajonal (PA) se extiende por 3,580.12 hectáreas, representando terrenos dominados por pajón. Los Arbustos (AR) abarcan 2,752.96 hectáreas, siendo una de las coberturas con mayor distribución de vegetación arbustiva. Los Afloramientos Rocosos (RO) suman 2,988.83 hectáreas, correspondientes a zonas con formaciones rocosas visibles.

Por su parte, las Tierras Desnudas (TD) cubren 52.57 hectáreas, reflejando áreas sin cobertura vegetal significativa. Los Bofedales (BF) comprenden 1309.39 hectáreas, asociadas a humedales altoandinos. La clase Lagos (LA) ocupa 95.83 hectáreas, incluyendo cuerpos de agua naturales permanentes, mientras que los Cuerpos de Agua Artificial (CA) representan 11.42 hectáreas, correspondientes a zonas con aguas servidas.

Figura 17.

Histograma de superficie (%) de coberturas de 2024



En la figura 17 muestra la superficie (%) de las diferentes clases de cobertura y uso de suelo identificadas en el área de estudio del distrito de Huanta que abarca una extensión de 16,470 ha. A partir del gráfico, se observa que la clase "Mosaico de Pastos y Cultivos" ocupa la mayor superficie, con 28.77 %, seguida de la cobertura de Pajonal con 21.74 % y Afloramiento Rocosos con 18.15 % del total de superficie. Por otro lado, clases como Bosques, Tierras desnudas, Lagos y Agua Artificial presentan una superficie menor, con 1.45 %, 0.32 %, 0.58% y 0.07 %, respectivamente.

Tabla 22.

Matriz de confusión de 2024

Clase	TU	PC	BO	PA	AR	RO	TD	BF	LA	CA	Total	Evaluación de precisión (%)
TU	18	1	0	0	2	0	0	0	0	0	21	0.86
PC	4	118	0	2	15	0	0	0	0	0	138	0.85
BO	0	0	6	1	8	0	0	1	0	0	16	0.30
PA	0	1	0	108	0	0	0	0	0	0	109	0.99
AR	3	4	0	1	73	0	1	0	0	1	83	0.88
RO	0	0	0	0	0	91	0	0	0	0	91	1
TD	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	10	1
BF	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	40	1
LA	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	10	1
CA	1	0	0	0	0	0	0	0	0	9	10	0.90
Total	26	123	6	112	98	91	11	41	10	10	528	
E. P. (%)	0.69	0.95	0.85	0.96	0.74	1	0.91	0.97	1	0.90		E. P. Global 0.91

La matriz de confusión generada a partir de la clasificación supervisada mediante el modelo Random Forest para el año 2024 observada en la Tabla 22 arroja los siguientes resultados: la clase Tejido Urbano clasificó correctamente 18 áreas de muestreo, mientras que 1 área de Pastos y Cultivos y 2 áreas de arbustos fueron clasificadas erróneamente, alcanzando una precisión del 0.86. La clase Pastos y Cultivos identificó correctamente 118 áreas, aunque 4 áreas de Tejido Urbano, 2 áreas de Pajonal fueron mal clasificadas, logrando una precisión del 0.85. Por su parte, la clase Bosques clasificó correctamente las 6 áreas evaluadas, mientras que 1 área de pajonal, 8 áreas de arbustos y 1 área de bofedal fueron erróneamente clasificados, obteniendo una precisión del 0.30.

La clase Pajonal registró 108 áreas correctamente clasificadas, mientras que 1 áreas fueron confundidas con la clase Pastos y Cultivos, logrando una precisión del 0.99. La clase Arbustos clasificó correctamente 73 áreas, pero 3 áreas de Tejido Urbano, 4 áreas de Pastos y Cultivos y 1 área de Pajonal fueron clasificadas erróneamente, alcanzando una precisión del 0.88. La clase

Afloramientos Rocosos identificó correctamente 91 áreas, sin confundirse con otra clase, logrando una precisión del 1.

En cuanto a las clases Tierras Desnudas, Bofedales y Lagos, se clasificaron correctamente 10, 40 y 10 áreas respectivamente, obteniendo una precisión del 1. Finalmente la clase Agua Artificial clasificaron correctamente las 9 áreas, confundiendo 1 área con la clase tejido urbano, logrando ambas una precisión del 0.90.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la matriz de confusión, se determinó la fuerza de concordancia a través del índice kappa.

$$P_0 = \frac{(18 + 118 + 6 + 108 + 73 + 91 + 10 + 40 + 10 + 9)}{528} = 0.91$$

$$P_e = \frac{(26 * 21) + (123 * 138) + (6 * 16) + (112 * 109) + (98 * 83) + (91 * 91) + (11 * 10) + (41 * 40) + (10 * 10) + (10 * 10)}{528 * 528} = 0.17$$

$$K = \frac{(0.91 - 0.17)}{(1 - 0.17)} = 0.89$$

De acuerdo a este resultado $k=0.89$, se concluye en que, la fuerza de concordancia entre la clasificación de áreas ejecutadas por el supervisor y el software ArcGIS Pro se ubica a nivel *casi perfecta*.

Porcentaje correctamente clasificado

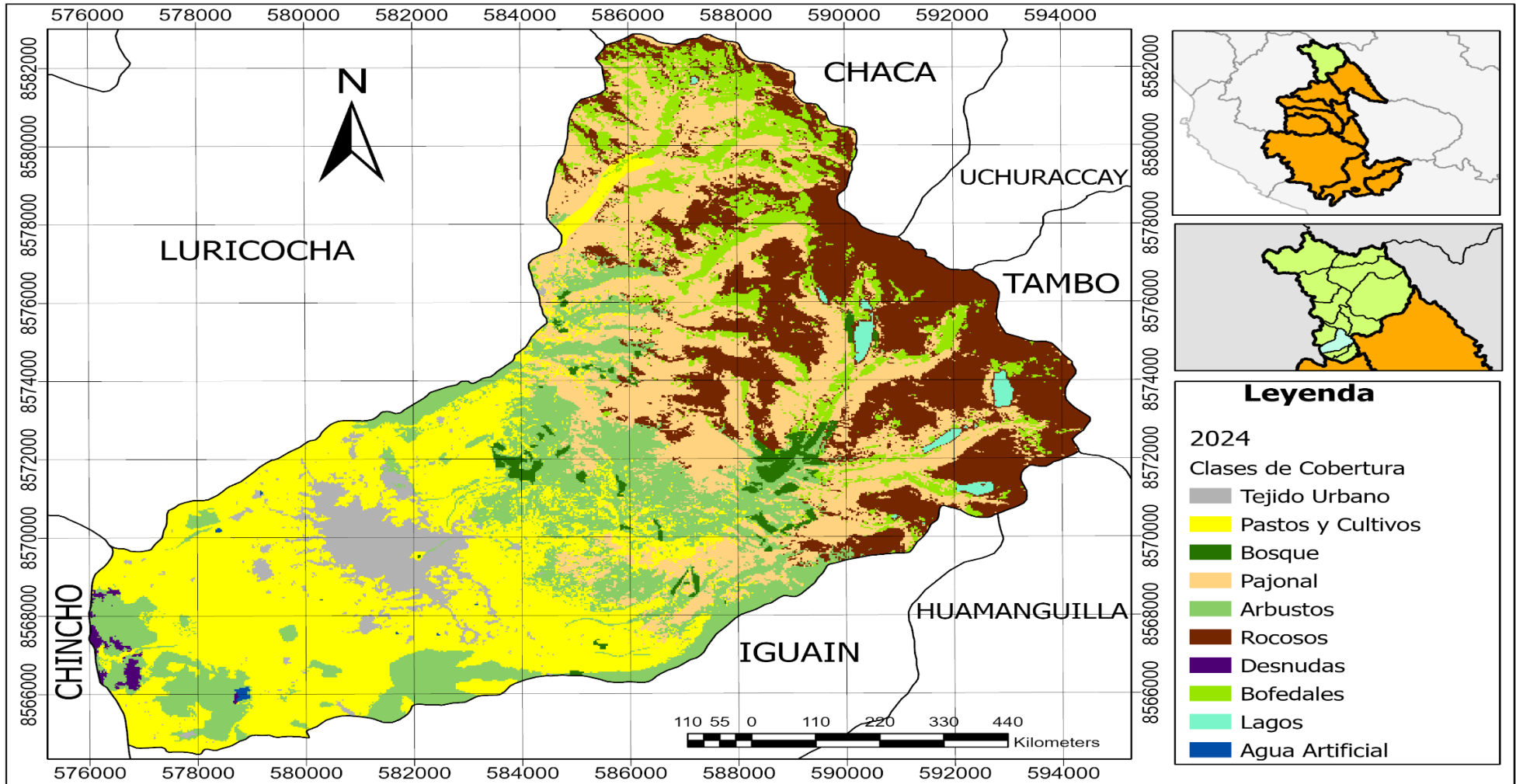
$$pcc = \frac{483}{528} * 100 \%$$

$$pcc = 91.48 \%$$

La métrica de precisión PCC nos da un valor de 91.48 %, del mapa CUS 2024 (Figura 2024), lo cual indica que el modelo Random Forest tiene una muy buena correlación con la realidad.

Figura 18.

Mapa de Clasificación Supervisada de 2024



4.1.2. OE2. Identificar las tendencias de cambios de cobertura y patrones de cambio de uso del suelo.

A) Cambios de Cobertura y Uso de Suelo, 1986-2024

Tabla 23.

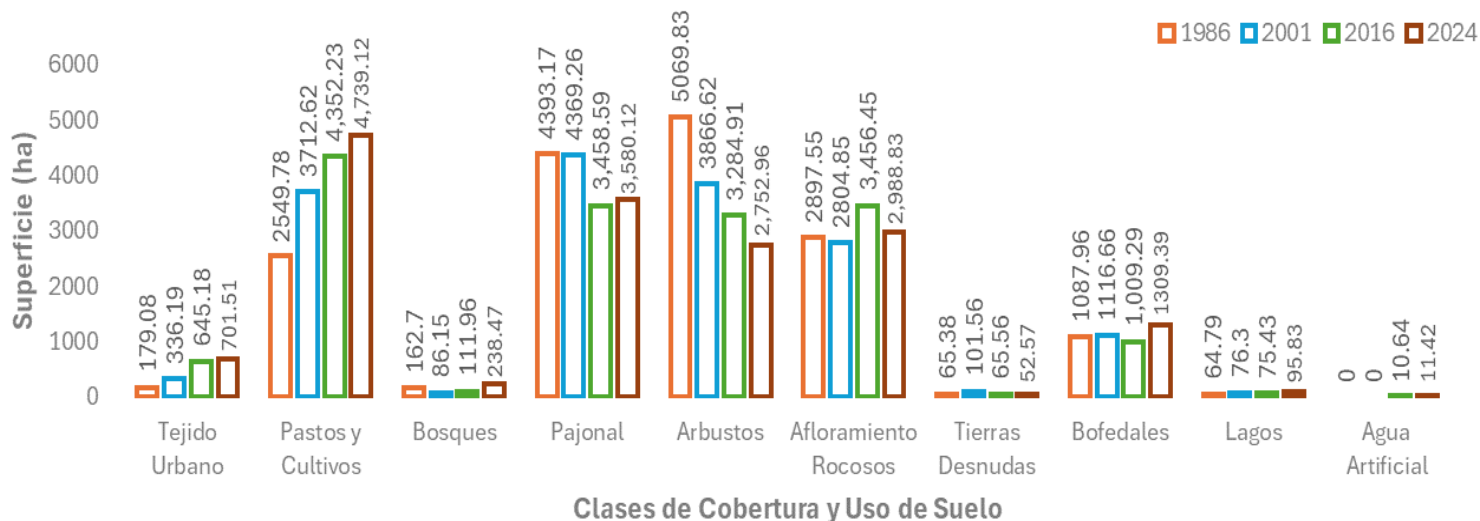
Cambios de cobertura y uso de suelo del año (1986 - 2024)

Clases	1986		2001		2016		2024		1986-2024	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	Δha	%
Tejido Urbano	179.08	1.09	336.19	2.04	645.18	3.92	701.51	4.26	522.43	291.73
Pastos y Cultivos	2549.78	15.48	3712.62	22.54	4,352.23	26.42	4,739.12	28.77	2,189.34	85.86
Bosques	162.7	0.99	86.15	0.52	111.96	0.68	238.47	1.45	75.77	46.57
Pajonal	4393.17	26.67	4369.26	26.53	3,458.59	21	3,580.12	21.74	-813.5	-18.51
Arbustos	5069.83	30.78	3866.62	23.48	3,284.91	19.94	2,752.96	16.71	-2,316.87	-45.70
Afloramiento Rocosos	2897.55	17.59	2804.85	17.03	3,456.45	20.99	2,988.83	18.15	91.28	3.15
Tierras Desnudas	65.38	0.4	101.56	0.62	65.56	0.4	52.57	0.32	-12.81	-19.59
Bofedales	1087.96	6.61	1116.66	6.78	1,009.29	6.13	1309.39	7.95	221.43	20.35
Lagos	64.79	0.39	76.3	0.46	75.43	0.46	95.83	0.58	31.04	47.91
Agua Artificial	0	0	0	0	10.64	0.06	11.42	0.07	0.78	7.33
Total	16470.24	100	16470.21	100	16470.24	100	16470.22	100		

Figura 19.

Cambios de cobertura y uso de suelo (1986-2024)

Dinamica de los Cambios de Cobertura y Uso de Suelo (1986-2024)



Las tendencias de cambios en la cobertura y patrones de cambio del uso de suelo en el distrito de Huanta durante los periodos 1986-2001, 2001-2016 y 2001-2024, se puede observar en la tabla 23 y Figura 19. A continuación, se detallan las variaciones observadas:

- La clase **Tejido Urbano** mostró un incremento de 157.11 ha en el periodo 1986-2001, 309.99 ha en el periodo 2001-2016 y de 56.33 ha en el periodo 2001-2024, creciendo un 291.73% de extensión territorial respecto a su primer año de estudio.
- La clase **Pastos y Cultivos** aumentó su extensión en 1,162.84 ha durante el primer periodo, 639.61 ha durante el segundo periodo y en 386.89 ha durante el tercer periodo, creciendo un 85.86% de extensión territorial respecto a su primer año de estudio.
- La clase **Bosques** presentó una reducción de 76.55 ha en el primer periodo, aumento su extensión en 25.81 ha para el segundo periodo y para el tercer periodo aumento 126.51 ha, creciendo un 46.57% de extensión territorial respecto a su primer año de estudio.
- La clase **Pajonal** experimentó una reducción de 23.91 ha en el periodo inicial, para el segundo periodo también hubo una reducción de 910.67 ha y para el último periodo aumento 121.53 ha, decreciendo un 18.51% de extensión territorial respecto a su primer año de estudio.
- La clase **Arbustos** registró una reducción significativa de 1,203.21 ha en el periodo 1986-2001, seguidamente con otra reducción de 581.71 ha para el periodo de 2001-2016 y descendiendo de 531.95 ha en el periodo 2016-2024, decreciendo un 45.70 % de extensión territorial respecto a su primer año de estudio..
- La clase **Afloramientos Rocosos** disminuyó en 92.7 ha durante el primer periodo, posteriormente incrementó su extensión en 651.6 ha para el segundo periodo y para el tercer periodo se redujo 467.62 ha, creciendo un 3.15% de extensión territorial respecto a su primer año de estudio..
- La clase **Tierras Desnudas** aumento 36.18 ha en el periodo 1986-2001, seguidamente reduciéndose 36 ha para el periodo 2001-2016 y reduciéndose 12.99 ha en el periodo 2016-2024, decreciendo un -19.59 % de extensión territorial respecto a su primer año de estudio.

- La clase **Bofedales** aumento su extensión en 28.7 ha en el primer periodo, seguidamente tuvo una reducción de 107.37 ha para el segundo periodo y aumento 300.1 ha para el tercer periodo, creciendo un 20.35% de extensión territorial respecto a su primer año de estudio.
- La clase **Lagos** aumento su extensión en 11.51 ha en el periodo inicial, para el segundo periodo se redujo 0.87 ha y aumento 20.04 ha para el tercer periodo, creciendo un 47.91% de extensión territorial respecto a su primer año de estudio.
- Finalmente, la clase **Agua Artificial** no tuvo registros en los años 1986 y 2001, su presencia se identifica únicamente en el año 2016 y 2024. Siendo el periodo de 2001-2016 donde aparece con 10.64 ha de extensión territorial y para el periodo de 2016-2024 aumento en un 0.78 ha, creciendo un 7.33% de extensión territorial respecto a su primer año de estudio.

Figura 20.

Dinámica de los cambios de cobertura y uso de suelo de 1986 a 2001

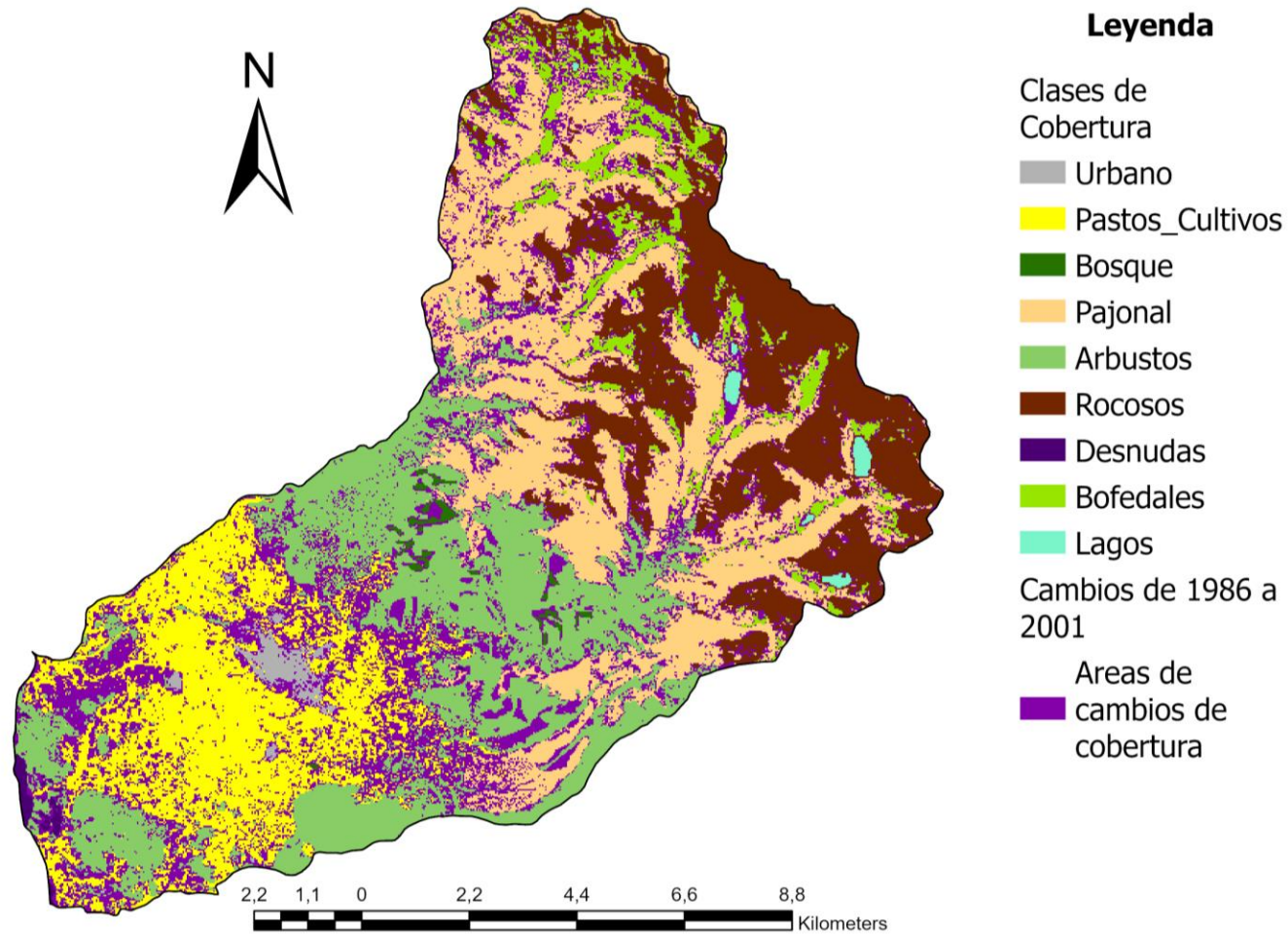


Tabla 24.

Matriz de tabulación cruzada para el periodo 1986 a 2001

	2001									Total
	TU	PC	BO	PA	AR	RO	TD	BF	LA	
1986 TU	147.69	28.42	0	0.09	2.79	0.09	0	0	0	179.08
PC	114.48	2341.66	0.09	10.55	75.85	0.87	6.28	0	0	2549.78
BO	0.09	1.22	61.73	0.26	99.31	0	0.09	0	0	162.7
PA	2.62	51.61	0	3619.6	252.69	192.99	0.35	269.74	3.58	4393.18
AR	71.14	1283.78	24.33	250.41	3387.33	10.64	40.1	1.92	0.17	5069.82
RO	0	0	0	265.8	15.52	2534.34	0	72.3	9.59	2897.55
TD	0.17	5.67	0	0.61	3.75	0.44	54.75	0	0	65.39
BF	0	0.26	0	221.95	29.3	62.7	0	772.61	1.13	1087.95
LA	0	0	0	0	0.09	2.79	0	0.09	61.82	64.79
Total	336.19	3712.62	86.15	4369.27	3866.63	2804.86	101.57	1116.66	76.29	

En la figura 20 se puede apreciar los cambios de cobertura de (1986 al 2001) y en tabla 24 se puede apreciar la matriz de tabulación cruzada para el periodo de estudio (1986 al 2001), los valores en las celdas diagonales (147.69, 2,341.66, 61.73, 3,619.6, 3,387.33, 2,534.34, 54.75, 772.61 y 61.82) indican las hectáreas que se mantuvo en las misma clase entre 1986 y 2001. Las celdas fuera de la diagonal representan áreas que cambiaron de una clase a otra, la clase que tuvo más cambios es la de Arbustos (AR), se aprecia que 71.14 ha que antes pertenecían a la clase Arbustos (AR) se convirtieron a la clase Tejido Urbano (TU), 1,283.78 ha que antes pertenecían a la clase Arbustos (AR) se convirtieron a la clase Pastos y Cultivos (PC), 24.33 ha de la clase Arbustos (AR) paso a ser a clase Bosques (BO), 250.41 ha de la clase Arbustos (AR) para a ser clase Pajonal (PA), 3,387.33 ha se mantuvieron durante el periodo estudiado, 10.64 ha de la clase Arbustos (AR) paso a ser clase Afloramiento Rocosos (RO), 40.10 ha de la clase Arbustos (AR) se convirtieron en clase Tierras Desnudas (TD), 1.92 ha de la clase Arbustos (AR) paso a ser clase Bofedales (BF) y 0.17 de la clase Arbustos (AR) paso a ser clase Lagos (LA). La clase que menos cambio tuvo fue la de Lagos (LA), se observa que 0.09 que antes pertenecían a la clase Lagos se convirtieron en Arbustos (AR), 2.79 ha que pertenecían a la clase Lagos se convirtieron en Afloramientos Rocosos (RO).

Figura 21.

Dinámica de los cambios de cobertura y uso de suelo de 2001 a 2016

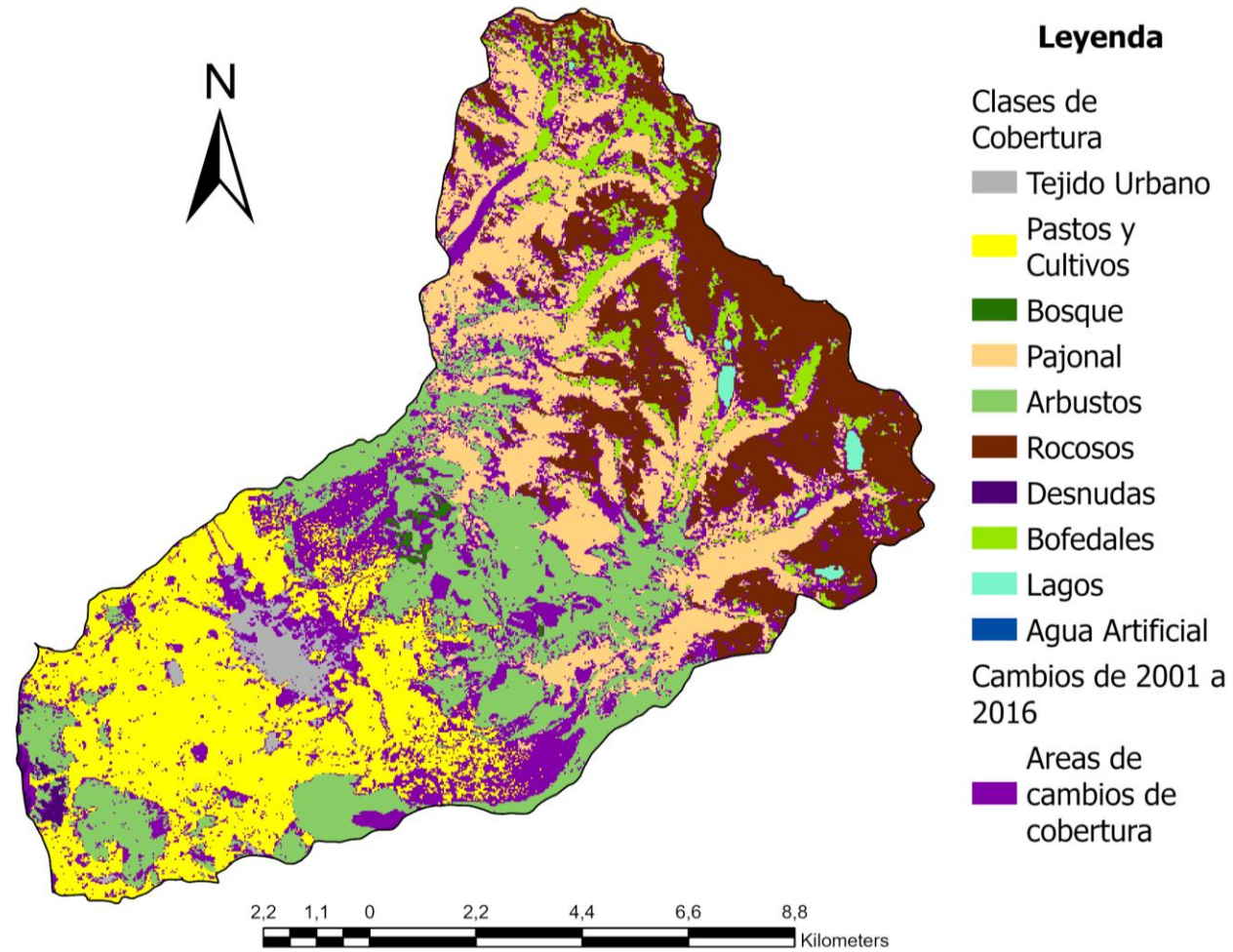


Tabla 25.

Matriz de tabulación cruzada para el periodo 2001 a 2016

Clase	TU	PC	BO	PA	AR	RO	TD	BF	LA	CA	Total 2001
TU	307.07	27.29	0	0.44	1.2	0	0	0	0	0.17	336.17
PC	294.61	3225.95	0.52	8.37	179.16	0	1.48	0	0	2.53	3712.62
BO	0	7.76	39.15	0	39.24	0	0	0	0	0	86.15
PA	4.62	232.36	2.96	3024.48	289.66	670.25	1.74	143.19	0	0	4369.26
AR	38.28	816.77	69.23	141.08	2749.83	29.56	8.72	5.23	0.26	7.67	3866.63
RO	0.17	1.22	0	138.48	7.94	2594.60	0.09	57.12	5.23	0	2804.85
TD	0.44	37.75	0.09	0.09	9.42	0	53.53	0	0	0.26	101.58
BF	0	3.14	0	145.65	8.46	156.9	0	802.26	0.26	0	1116.67
LA	0	0	0	0	0	5.15	0	1.48	69.67	0	76.3
CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total 2016	645.19	4352.24	111.95	3458.59	3284.91	3456.46	65.56	1009.28	75.42	10.63	

En la figura 21 se puede apreciar los cambios de cobertura de (2001 al 2016) y en la tabla 25 se puede apreciar la matriz de tabulación cruzada para el periodo de estudio (2001 al 2026), se observa que los valores en las celdas diagonales (307.07, 3,225.95, 39.15, 3024.48, 2749.83, 2594.60, 53.53, 802.26, 69.67 y 0) indican las hectáreas que se mantuvo en las misma clase entre 2001 y 20216. Las celdas fuera de la diagonal representan áreas que cambiaron de una clase a otra, una de la clase que tuvo más cambios es la de Arbustos (AR), se aprecia que 38.28 ha que antes pertenecían a la clase Arbustos (AR) se convirtieron a la clase Tejido Urbano (TU), 816.77 ha que antes pertenecían a la clase Arbustos (AR) se convirtieron a la clase Pastos y Cultivos (PC), 69.23 ha de la clase Arbustos (AR) paso a ser a clase Bosques (BO), 141.08 ha de la clase Arbustos (AR) para a ser clase Pajonal (PA), 2,749.83 ha se mantuvieron durante el periodo estudiado, 29.56 ha de la clase Arbustos (AR) paso a ser clase Afloramiento Rocosos (RO), 8.72 ha de la clase arbustos (AR) se convirtieron en clase Tierras Desnudas (TD), 5.23 ha de la clase arbustos (AR) paso a ser clase Bofedales (BF), 0.26 ha de la clase Arbustos (AR) paso a ser clase Lagos (LA) y 7.67 ha de la clase Arbustos (AR) paso a ser clase Agua Artificial (CA).

Figura 22.

Dinámica de los cambios de cobertura y uso de suelo de 2016 a 2024

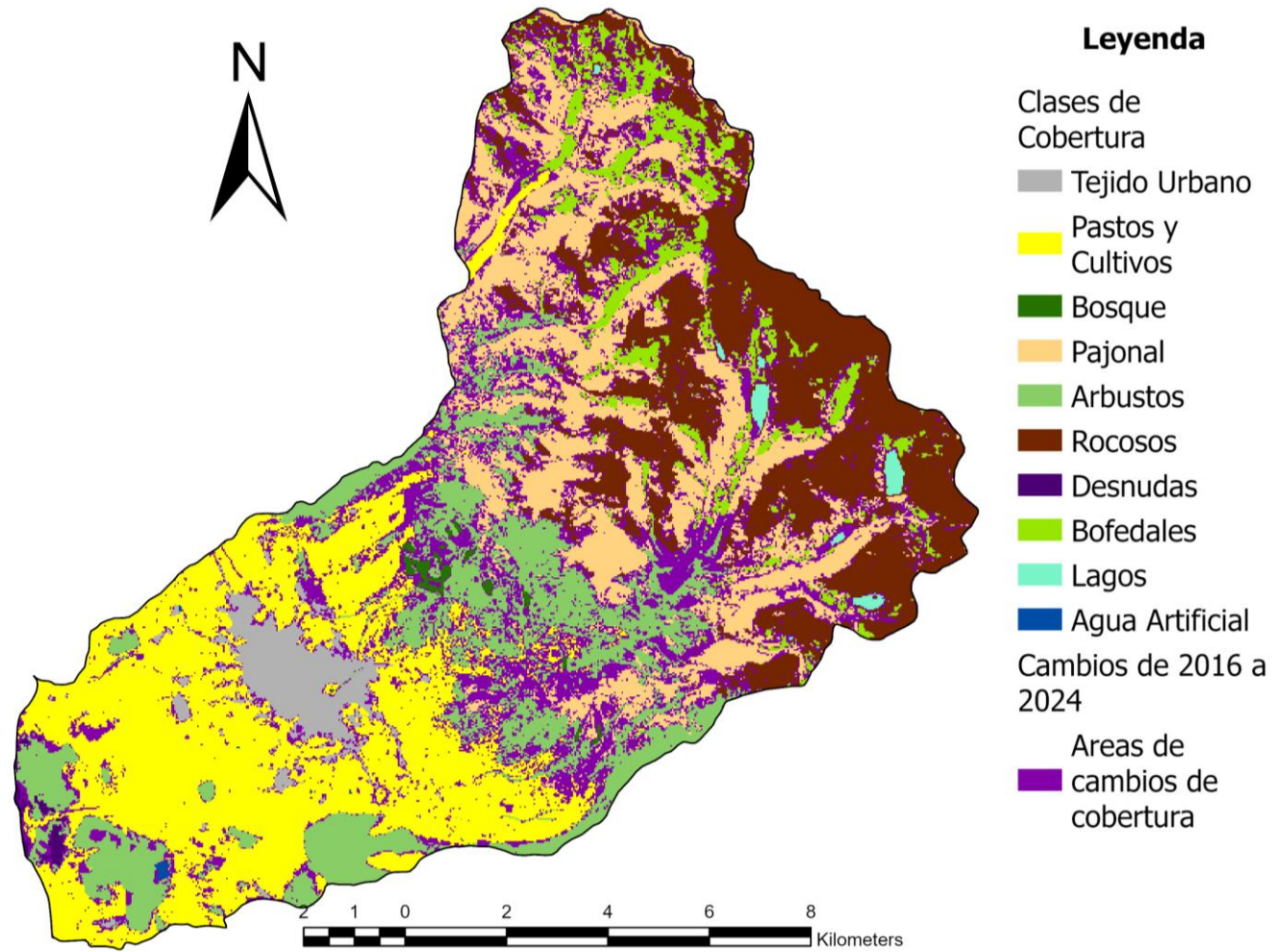


Tabla 26.

Matriz de tabulación cruzada para el periodo 2016 a 2024

Clase	TU	PC	BO	PA	AR	RO	TD	BF	LA	CA	Total 2016
TU	546.57	90.59	0.09	1.57	6.1	0	0.17	0	0	0.09	645.18
PC	135.49	3927.38	5.75	53.88	224.33	0.09	4.71	0.26	0	0.35	4352.24
BO	0	15.96	53.80	0.09	42.12	0	0	0	0	0	111.97
PA	2.35	123.65	22.06	2750.84	120.33	200.83	0	237.04	1.48	0	3458.58
AR	17.09	572.65	133.06	243.09	2287.19	10.64	8.37	10.55	0	2.27	3284.91
RO	0	1.31	13.17	450.24	49.44	2710.48	0	211.41	20.06	0.35	3456.46
TD	0	4.36	0	4.88	17.61	0	38.71	0	0	0	65.56
BF	0	3.05	10.55	75.52	4.36	63.75	0	850.05	2.01	0	1009.29
LA	0	0	0	0	0	3.05	0	0.09	72.29	0	75.43
CA	0	0.17	0	0	1.48	0	0.61	0	0	8.37	10.63
Total 2024	701.5	4739.12	238.48	3580.11	2752.96	2988.84	52.57	1309.4	95.84	11.43	

En la figura 22 se puede apreciar los cambios de cobertura de (2016 al 2024) y en la tabla 26 se puede apreciar la matriz de tabulación cruzada para el periodo de estudio (2016 al 2024), se observa que los valores en las celdas diagonales (546.57, 3,927.38, 53.80, 2,750.84, 2,287.19, 2,710.48, 38.71, 850.05, 72.29 y 8.37) indican las hectáreas que se mantuvo en las misma clase entre 2016 y 2024. Las celdas fuera de la diagonal representan áreas que cambiaron de una clase a otra, una de la clase que tuvo más cambios es la de Arbustos (AR), se aprecia que 17.09 ha que antes pertenecían a la clase Arbustos (AR) se convirtieron a la clase Tejido Urbano (TU), 572.65 ha que antes pertenecían a la clase Arbustos (AR) se convirtieron a la clase Pastos y Cultivos (PC), 133.06 ha de la clase Arbustos (AR) paso a ser a clase Bosques (BO), 243.09 ha de la clase Arbustos (AR) para a ser clase Pajonal (PA), 2,287.19 ha se mantuvieron durante el periodo estudiado, 10.64 ha de la clase Arbustos (AR) paso a ser clase Afloramiento Rocosos (RO), 8.37 ha de la clase arbustos (AR) se convirtieron en clase Tierras Desnudas (TD), 10.55 ha de la clase arbustos (AR) paso a ser clase Bofedales (BF) y 2.27 ha de la clase Arbustos (AR) paso a ser clase Agua Artificial (CA).

4.1.3. OE3. Proyectar la distribución espacial y temporal de las clases de coberturas y los tipos de usos del suelo para el año 2040.

A) Proyección de coberturas y uso del suelo (2040)

Tabla 27.

Niveles Corine Land Cover Encontrados en 2040

Nivel I	Nivel II	Nivel III	ID
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido Urbano	TU
2. Áreas agrícolas	2.4. Áreas agrícolas Heterogéneas	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	PC
	3.1. Bosques		BO
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.3.1 Pajonal	PA
		3.3.4 Arbustos	AR
	3.4. Áreas sin o con poca vegetación	3.4.2. Afloramientos rocosos	RO
4. Áreas húmedas	4.1. Áreas Húmedas Continentales	3.4.3. Tierras desnudas	TD
		4.1.2. Bofedales	BF
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	LA
		5.1.5. Cuerpos de agua artificiales	CA

De acuerdo a la tabla 27, se realizó la clasificación supervisada para el año 2040 lográndose identificar 10 clases de cobertura; para lo cual, se ha empleado la metodología CORINE Land Cover, que ha permitido clasificar: cobertura de tejido urbano que corresponde al nivel III; cobertura de mosaico de pastos y cultivos que corresponde al nivel III; cobertura de bosques que pertenece al nivel II; cobertura pajonal que corresponde al nivel III; cobertura arbustos que corresponde al nivel III; cobertura afloramiento rocosos que corresponde al nivel III, Tierras desnudas que corresponde al nivel III, cobertura bofedales que corresponde al nivel III; cobertura lagos que corresponde al nivel III y cobertura de Agua Artificial que corresponde al nivel III.

Tabla 28.

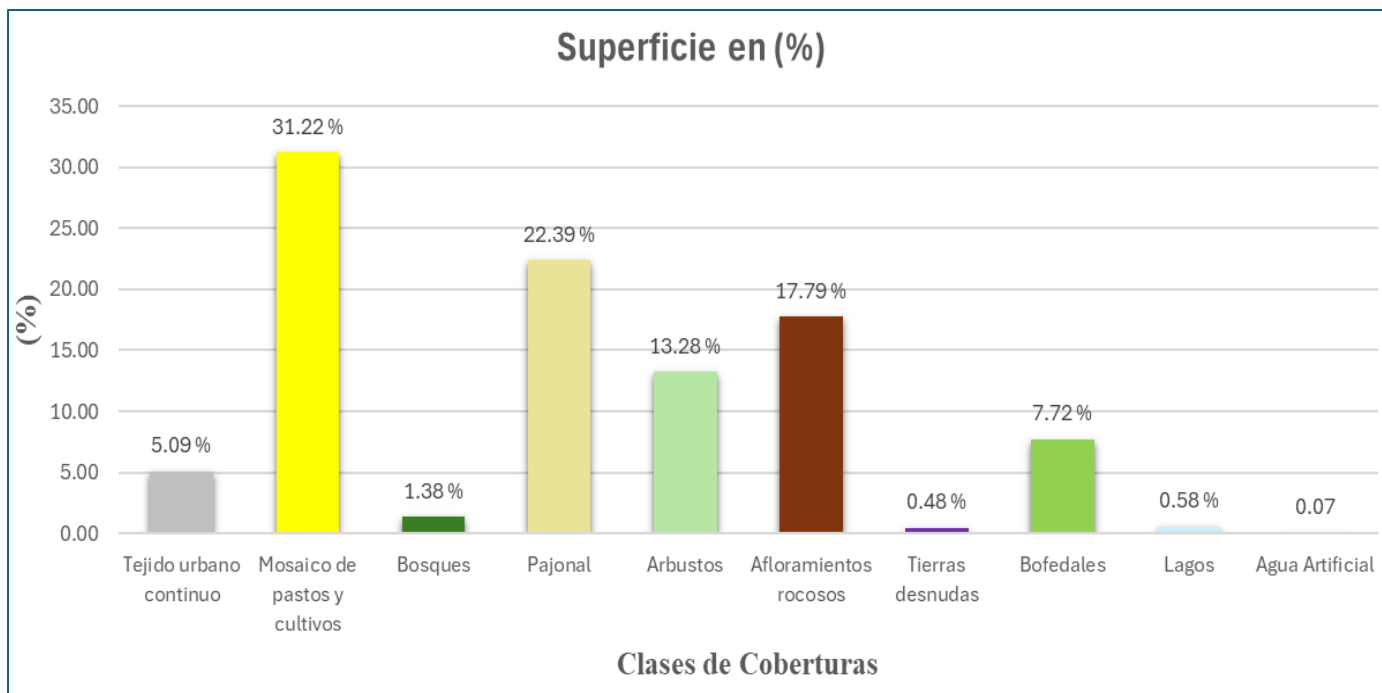
Superficie de clases de cobertura de 2040

Clases	Superficie (ha)	Superficie (%)
Tejido urbano continuo	838.26	5.09
Mosaico de pastos y cultivos	5,142.52	31.22
Bosques	227.52	1.38
Pajonal	3,687.00	22.39
Arbustos	2,187.34	13.28
Afloramientos rocosos	2,930.50	17.79
Tierras desnudas	78.80	0.48
Bofedales	1,270.94	7.72
Lagos	96.01	0.58
Cuerpos de Agua Artificial	11.54	0.07
Total	16,470.43	100

En la tabla 28, se ha identificado la extensión en hectáreas de cada clase de cobertura y uso de suelo en el área de estudio de la siguiente forma: Tejido Urbano (TU) ocupa 838.26 hectáreas, reflejando las áreas urbanizadas con una infraestructura densa, Mosaico de Pastos y Cultivos (PC) abarca 5,142.52 hectáreas, representando las zonas donde coexisten áreas de pastoreo y cultivos siendo la cobertura con más extensión significativa en el área de estudio, Bosques (BO), cubren 227.52 hectáreas, destacando la presencia de vegetación arbórea en el paisaje, Pajonal (PA), comprende 3,687.00 hectáreas, terreno cubierto de Pajón, Arbustos (AR) representan la mayor cobertura, con 2,187.34 hectáreas, indicando una amplia distribución de vegetación arbustiva. Afloramientos Rocosos (RO) se extiende por 2,930.50 hectáreas, cubriendo zonas de formaciones rocosas visibles en el terreno. Tierras Desnudas (TD) abarcan 78.80 hectáreas, reflejando áreas sin cobertura vegetal significativa. Bofedales (BF) cubren 1,270.94 hectáreas, correspondientes a humedales altoandinos, Lagos (LA) ocupan 96.01 hectáreas, que incluyen cuerpos de agua naturales permanentes y Cuerpos de Agua Artificial (CA) que representan 11.54 hectáreas incluyen agua servidas y aguas de regadío.

Figura 23.

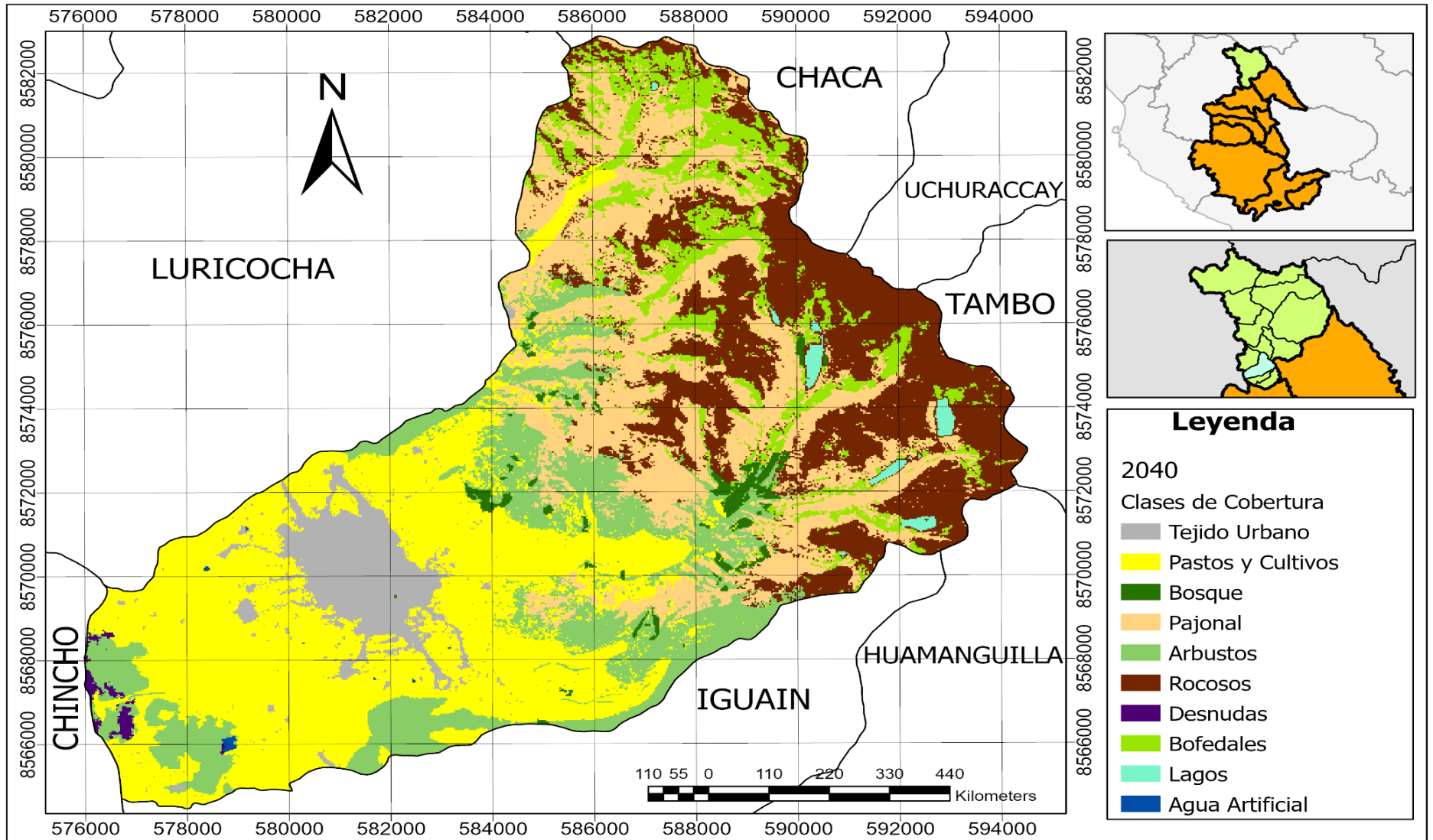
Histograma de superficie (%) de coberturas de 2040



En la figura 23 muestra la superficie (%) de las diferentes clases de cobertura y uso de suelo proyectadas hacia el 2040, en el área de estudio del distrito de Huanta que abarca una extensión de 16,470 ha. A partir del gráfico, se observa que la clase "Mosaico de Pastos y Cultivos" ocupa la mayor superficie, con 31.22 %, seguida de la cobertura de "Pajonal" con 22.39 % y "Afloramiento Rocosos" con 17.79 % del total de superficie. Por otro lado, clases como Bosques, Tierras desnudas, Lagos y Cuerpos de Agua Artificial presentan una superficie menor, con 1.38 %, 0.48 %, 0.58 % y 0.07 %, respectivamente.

Figura 24.

Mapa de clasificación del 2040



4.1.4. OE4. Proyectar las posibles tendencias de cambios de cobertura y patrones de cambio de uso del suelo para el año 2040

Figura 25.

Dinámica de los cambios de cobertura y uso de suelo de 2024 a 2040.

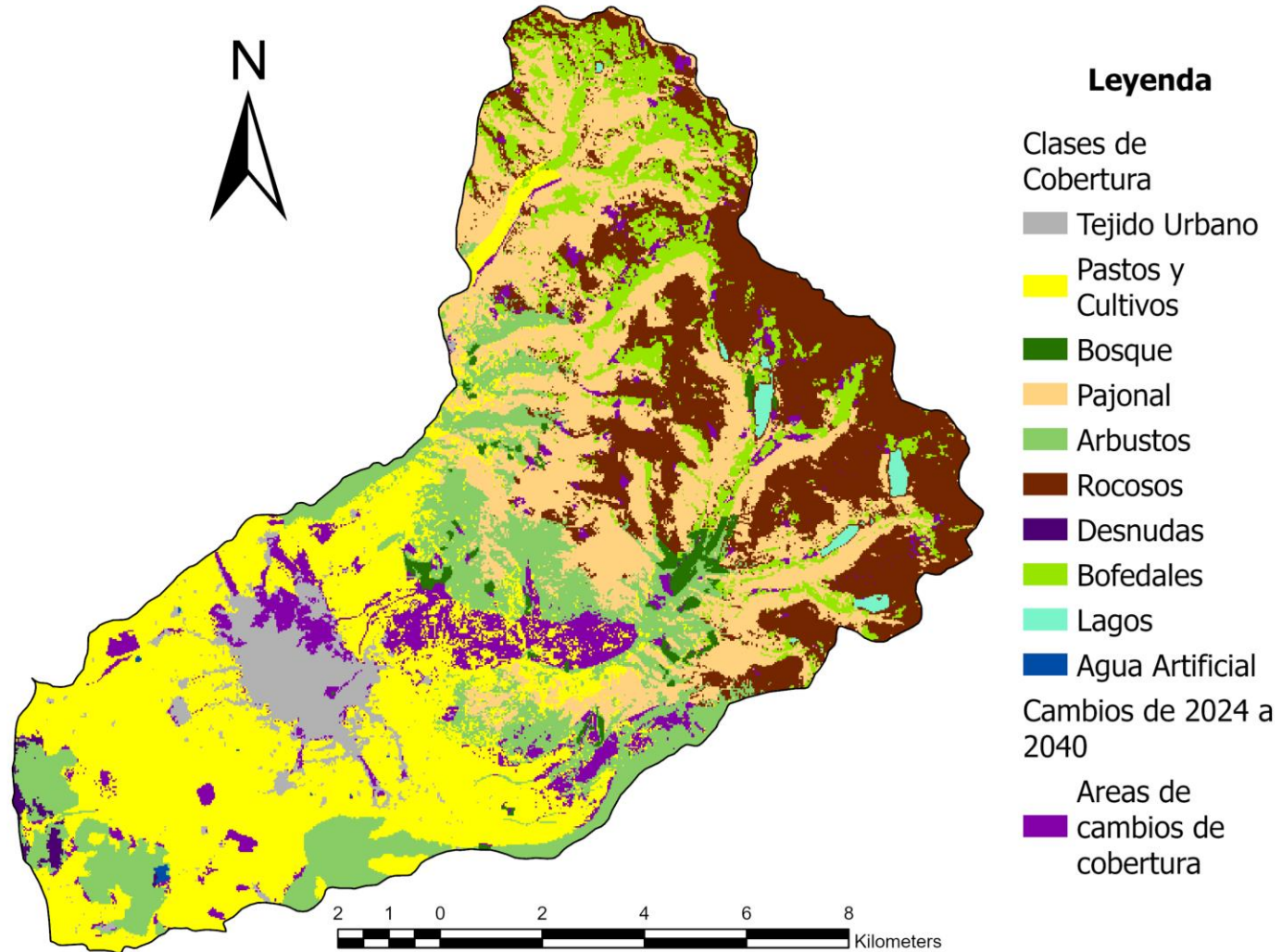


Tabla 29.

Matriz de tabulación cruzada para el periodo 2024 a 2040

Clase	TU	PC	BO	PA	AR	RO	TD	BF	LA	CA	Total 2024
TU	700.11	1.13	0	0	0.26	0	0	0	0	0	701.5
PC	178.74	4557.76	0	0	2.44	0	0	0	0	0.17	4739.11
BO	0	36.36	201.07	0	0	0	0	1.05	0	0	238.48
PA	0.09	28.51	0	3348.96	108.89	40.29	0	53.37	0	0	3580.11
AR	6.8	484.07	0	0.17	2257.82	4.1	0	0	0	0	2752.96
RO	0	0	0	64.71	0	2923.51	0	0.44	0.17	0	2988.83
TD	0	0	0	0	0	0.96	51.61	0	0	0	52.57
BF	0	0	0	21.1	0	0.09	0	1288.2	0	0	1309.39
LA	0	0	0	0.17	0	0.87	0	0	94.79	0	95.83
CA	0	0.96	0	0	0.09	0.35	0	0.17	0	9.85	11.42
Total 2040	885.74	5108.79	201.07	3435.11	2369.5	2970.17	51.61	1343.23	94.96	10.02	

En la figura 25 se puede apreciar los cambios de cobertura de (2024 al 2040) y en la tabla 29 se puede apreciar la matriz de tabulación cruzada para el periodo de estudio (2024 al 2040), se observa que los valores en las celdas diagonales (700.11, 4,557.76, 201.07, 3,348.96, 2,257.82, 2,923.51, 51.61, 1,288.2, 94.79 y 9.85) indican las hectáreas que se mantuvo en las misma clase entre 2024 y 2040. Las celdas fuera de la diagonal representan áreas que cambiaron de una clase a otra, la clase que tuvo más cambios es la de Pajonal (PA), se aprecia que 0.09 ha que antes pertenecían a la clase Pajonal (PA) se convirtieron a la clase Tejido Urbano (TU), 28.10 ha que antes pertenecían a la Pajonal (PA) se convirtieron a la clase Pastos y Cultivos (PC), 3,348.96 ha de la clase Pajonal (PA) se mantuvieron durante el periodo estudiado.

4.2. Discusión

Referente a la dinámica de los cambios de cobertura y uso del suelo en el distrito de Huanta, durante el periodo de 1986 – 2024, identificando sus tendencias de cambio y proyectando posibles escenarios al año 2040, los resultados obtenidos reflejan una dinámica compleja influenciada tanto por factores antrópicos como naturales. A lo largo de los períodos analizados (1986, 2002, 2016, 2024 y 2040), se observa que las transformaciones en las coberturas están correlacionadas con la intensificación del uso del suelo para actividades humanas, particularmente coberturas como tejido urbano, pastos y cultivos, bosques y cuerpos de agua artificial, han aumentado su extensión territorial respectivamente en un 291.73%, 85.86 %, 46.57 % y 7.33 % con respecto a su primer año de estudio, investigaciones como las de Cobos, Luna, Barrezueta y Jaramillo (2021) y Nájera, et al. (2021), también muestran esta dinámica similares en sus resultados. Las coberturas naturales, como la clase Pajonal, Arbustos, Tierras desnudas han perdido -18.51 %, -45.70 % y -19.59 % de extensión territorial respecto a su primer año de estudio, a esta reducción se le atribuye la expansión de actividades agrícolas y ganaderas, así como al crecimiento urbano. Estos patrones hallados no solo refleja un cambio físico en el paisaje, sino también un impacto en los servicios ecosistémicos, como la regulación hídrica y la biodiversidad, investigaciones como las de Friedel, Duval y Benedetti (2022) llegan a esta mismos resultados. La expansión del tejido urbano y las áreas agrícolas muestra cómo la presión demográfica y las demandas económicas están modificando el territorio. En particular, las áreas urbanas han mostrado un crecimiento sostenido, triplicando su extensión entre 1986 y 2040. Este cambio está vinculado al aumento de la población en el distrito, así como a la intensificación de actividades económicas. Este comportamiento coincide con estudios similares en regiones andinas, donde se reporta que la expansión de la frontera agrícola y urbana es uno de los principales motores de cambio del uso del suelo y también las clases de coberturas que están aisladas de la presencia humana solo intercalan extensiones de territorio (Valqui, 2023; Gómez, 2022). Por otro lado las clases bofedales, afloramientos rocosos, lagos y una gran parte del pajonal han mantenido una estabilidad relativa a lo largo del tiempo, presentando variaciones en su extensión que, en ciertos periodos, se reducen para luego

regenerarse. Este comportamiento indica la existencia de un equilibrio natural dentro de estas categorías.

Respecto a la caracterización de la distribución espacial y temporal de las clases de coberturas y los tipos de uso del suelo, en los años 1986, 2001, 2016 y 2024, aplicando de la metodología CORINE Land Cover adaptada para Perú, se identificó 9 clases de cobertura en 1986 y 2001 y 10 clases de coberturas para el 2016 y 2024, en el territorio del distrito de Huanta, para el primer año de estudio; la *cobertura arbustos* corresponde a la mayor extensión territorial encontrada con 5,069.83 ha que viene a ser el 30.78 % respecto al total. Mientras tanto, la *cobertura lagos* corresponde a la menor extensión territorial de 64.79 ha que viene ser el 0.39 % respecto al total. En el segundo año de estudio, la *cobertura pajonal* tiene la mayor extensión territorial con 4,369.26 ha que viene a ser el 26.53 % respecto al total. Por otro lado la *cobertura lagos* con un 76.3 ha es la menor extensión territorial, que corresponde a un 0.46 % respecto al total. En el tercer año de estudio, la cobertura *Pastos y Cultivos* corresponde a la mayor extensión territorial con un 4,352.23 ha que viene a ser el 26.42 % respecto al total. Mientras tanto la *cobertura cuerpos de agua artificial* corresponde a la menor extensión territorial con 10.64 ha que viene a ser el 0.06 % respecto al total. Para el último año de estudio, la cobertura *Pastos y Cultivos* corresponde a la mayor extensión territorial con un 4,739.12 ha que viene a ser el 28.77 % respecto al total. Mientras tanto la *cobertura cuerpos de agua artificial* corresponde a la menor extensión territorial con 11.42 ha que viene a ser el 0.07 % respecto al total. Los hallazgos de esta investigación difieren con otras investigaciones previas, como la de Lumba (2023), quien también aplico la metodología CORINE y reporto en su resultados 8 clases de cobertura encontradas en su respectivo área de estudio los cuales son: cultivos transitorios, tejido urbano continuo, pastos, bosques, vegetación herbácea, vegetación arbustiva, afloramiento rocosos y tierra desnuda, siendo la *cobertura de bosques* que corresponde a un 2 642.82 ha que viene a ser el 14.85 % respecto al total de su área de estudio. También difiere con la investigaciones como la de Valqui (2023), que reporto en sus resultados 5 clases de coberturas encontradas en su área de estudio: pajonal, bosque, pasto, tierra desnuda y tejido urbano, siendo la cobertura de bosques la que más extensión territorial

tiene con un 4158.72 ha y una superficie porcentual de 64.71% y la menos cobertura en extensión territorial es la de tejido urbano con 17.37 ha y 0.27% de superficie porcentual. Aunque todos los estudios previos emplearon la metodología CORINE Land Cover, cada área de estudio tiene una configuración geográfica única las cuales pueden favorecer a ciertos tipos de cobertura y limitar otros. Factores como la altitud, la pendiente, el clima y la disponibilidad de recursos hídricos influyen en la distribución de las coberturas y su extensión de uso del suelo. Es por ende que las clases encontradas en el distrito de Huanta son únicas, ya que reflejan las condiciones ambientales y las dinámicas socioeconómicas propias de la región.

Referente a las tendencias de cambios cobertura y patrones de cambio del uso del suelo. Los resultados muestran transformaciones significativas en la coberturas naturales como la reducción de la *cobertura arbustal* con una tasa de reducción de -7.3 % para el periodo 1986-2001, una tasa de -3.54 % para el periodo 2001-2016 y una tasa de reducción del -3.23 % para el periodo 2016-2024. También la *cobertura de pajonal* tuvo una tasa de -0.14 % para el periodo 1986-2001, seguida de otra tasa de reducción de -5.53 % para el periodo 2001-2016 y una tasa de expansión de 0.74 para el periodo 2016-2024. siendo estas las cobertura que más cambios sobrellevaron durante el periodo de 1986-2024, a consecuencia de los tipos de uso del suelo antropogénicos (tejido urbano, pastos y cultivos y cuerpos de agua artificial) en gran medida y naturales (pajonal, arbustal afloramiento rocosos, bofedales y lagos) en poca medida. Se puede resaltar que los impactos de la expansión agrícola y la tala, son patrones característicos en regiones andinas. Por otro lado, el incremento del tejido urbano evidencia el crecimiento poblacional y las demandas de infraestructura en la región. Estos hallazgos concuerdan con estudios realizados en regiones andinas del Perú, donde la pérdida de coberturas naturales está relacionada con la expansión agrícola y urbana. Por ejemplo, investigaciones como las de Lumba (2023) y Paredes (2023) también destacan una disminución significativa en áreas forestales con un -5.55% y -2.39 % y áreas arbustales -16.50% y 0.88 % respectivamente. Por otro lado un incremento en áreas urbanas de 14.6 % y 10.08 % agrícolas 6.58 % y 3.15 %, existiendo una tendencia similares en regiones andinas. Asimismo, Valqui (2023) reporta un

crecimiento urbano acelerado en regiones rurales del país, alineándose con las tendencias observadas en Huanta. Investigaciones como las de Subia (2020), Tabaco (2023) y Cachay (2023), también atribuyen que la disminución de coberturas naturales está estrechamente relacionado con la presión demográfica, al aumento de la agricultura comercial y el pastoreo intensivo. En ese sentido, nuestros hallazgos refuerzan la hipótesis de que la transformación del uso de suelo está estrechamente vinculado al cambio de coberturas. A nivel regional, el informe del MINAM (2023) enfatiza cómo las áreas de mayor presión agrícola y urbana tienden a mostrar una pérdida acelerada de coberturas naturales. En el contexto de Huanta, este fenómeno parece estar exacerbado por la falta de planificación territorial y estrategias de manejo sostenible. Aunque las actividades agrícolas y urbanas generan beneficios económicos a corto plazo, la degradación de los recursos naturales podría llevar a una disminución de la productividad del suelo, resaltando así la necesidad de equilibrar el desarrollo económico con la conservación ambiental.

La disminución de áreas como los arbustos y bosques podría impactar negativamente en la biodiversidad y la regulación hídrica del distrito, comprometiendo servicios ecosistémicos esenciales tal como sugiere Callirgos y Quispe (2021). Las comunidades locales dependen de los recursos naturales para su subsistencia, la degradación del suelo y la reducción de cobertura vegetal podrían afectar la seguridad alimentaria y los medios de vida de la población, tal como sugiere Yupanqui (2021). En cuanto a coberturas de Pajonal y Afloramiento Rocosos, se aprecia que en los periodos estudiados se han estado alternando en predominancia, esto puede deberse al sobrepastoreo de ganado de los pobladores de la zona como también a los animales nativos de la parte superior del distrito de Huanta.

Respecto a la proyección de la distribución espacial y temporal de las clases de coberturas y los tipos de usos del suelo para el año 2040, aplicando de la metodología CORINE Land Cover adaptada para Perú, se identificó 10 clases para el año 2040, en el territorio del distrito de Huanta, la *cobertura Pastos y Cultivos* corresponde a la mayor extensión territorial proyectada con 5,142.52 ha que viene a ser el 31.22 % respecto al total. Mientras tanto, la *cuerpos de agua artificial* corresponde a la menor extensión territorial de 11.54 ha que

viene ser el 0.07 % respecto al total. Trabajos como (Gómez 2022) y (Pérez y Vargas, 2021) que proyectaron su zona de estudio, hallaron las mismas clases en sus investigaciones respectivas, con la diferencia que las coberturas halladas son diferentes y esto se debe a que el ámbito espacial es único para cada investigación.

Respecto a la Proyección de la relación de los cambios de cobertura y los tipos del uso de suelo para el año 2040, donde se utilizó cadenas de Márkov para realizar la proyección se obtiene un escenario donde los cambios de cobertura estarán estrechamente vinculados a los tipos de uso del suelo en el distrito de Huanta. Este análisis predice que las coberturas naturales, como arbustos, continuarán disminuyendo, mientras que las áreas destinadas a actividades humanas, como pastos y cultivos y tejido urbano, experimentarán un aumento significativo. Este patrón refleja una intensificación de la transformación del paisaje, impulsada por las necesidades socioeconómicas y el crecimiento poblacional. La relación proyectada muestra que los cambios en la cobertura no serán homogéneos en todo el distrito, sino que seguirán patrones espaciales específicos. Por ejemplo, las áreas cercanas a zonas urbanas tienden a experimentar mayores presiones, lo que sugiere que el crecimiento urbano seguirá siendo un motor clave en la transformación del suelo. Investigaciones como las de Valqui (2023) y Gómez (2022) también predicen tendencias similares en áreas andinas, donde la expansión de la frontera agrícola y urbana sigue siendo predominante. Además, esta relación dinámica implica que la extensión del uso del suelo estará marcada por la conversión de coberturas naturales en áreas de producción agrícola, lo que podría generar conflictos entre la necesidad de satisfacer demandas económicas y la conservación de los recursos naturales. Este hallazgo es consistente con proyecciones realizadas en otras regiones del Perú, donde se prevé que la pérdida de coberturas naturales tendrá implicancias directas en la biodiversidad y la regulación hídrica (Pérez y Vargas, 2021).

V. CONCLUSIONES

Después de procesar los datos y realizar un análisis detallado de la información obtenida en relación con los objetivos planteados en esta investigación, se han determinado las siguientes conclusiones:

1) En cuanto a la dinámica de los cambios de cobertura y uso del suelo en el distrito de Huanta, durante el periodo de 1986 – 2024, con una proyección al 2040. La dinámica de la cobertura y el uso del suelo en el distrito de Huanta ha mostrado una transformación constante a lo largo del tiempo, impulsada principalmente por la expansión de actividades humanas, y en menor medida, por procesos naturales. Se ha identificado que las coberturas de tejido urbano, mosaico de pastos y cultivos, bosques y cuerpos de agua artificial han experimentado un incremento en su extensión territorial en un 291.73 %, 85.86 %, 46.57 % y 7.33 %, respectivamente, en comparación con su área inicial en el primer año de estudio, reemplazando coberturas naturales, siendo la clase arbustos la más afectada por los cambios de uso de suelo, este ha decrecido en todos los años estudiados y un pequeño sector de la clase pajonal. Las coberturas de pajonal, arbustos y tierras desnudas han reducido su extensión territorial en un -18.51 %, -45.70 % y -19.59 %, respectivamente, en comparación con su superficie inicial, evidenciando una disminución progresiva a lo largo del tiempo. Esto refleja la influencia de factores socioeconómicos y ambientales en la reorganización territorial. Estos cambios han seguido patrones que evidencian una tendencia sostenida hacia la conversión de áreas naturales en usos productivos. La clase bosque, disminuyeron en los primeros años de estudio, y es a partir del 2016 que se pudo observar que gracias a la forestación y reforestación se están manteniendo estables. Por otro lado las clases que no han sido muy afectadas en cuanto su evolución en los años estudiados, son las clases pajonal, afloramiento rocosos, bofedales y lagos, que han intercalado extensiones de territorio entre ellos en los periodos estudiados, ya que todas estas clases se encuentran en la parte alta del distrito de Huanta, fuera de la intervención del hombre, no tiene alteraciones drásticas como la parte baja del distrito.

2) En cuanto a la caracterización de la distribución espacial y temporal de las clases de coberturas y los tipos de uso del suelo, en los años 1986, 2001, 2016 y 2024. El análisis de la distribución espacial y temporal de las coberturas y los usos del suelo

ha permitido identificar patrones específicos de cambio para cada clase en los distintos periodos evaluados. Se ha determinado la extensión del uso del suelo que cuantifica las hectáreas que ocupa cada clase de cobertura en los años analizados, proporcionando una comprensión detallada de la evolución del paisaje en el distrito de Huanta en cada periodo de estudio.

3) En cuanto a la identificación de las tendencias de cambios cobertura y patrones de cambio del uso del suelo. Los resultados confirman que las transformaciones en la cobertura están vinculadas a las modificaciones en los tipos de uso del suelo, evidenciando una dinámica territorial impulsada por factores antrópicos y ambientales. El análisis muestra una reducción progresiva de coberturas naturales, como arbustos y pajonal, acompañada de un incremento en áreas destinadas a actividades productivas, principalmente la agricultura y la urbanización. Mientras que las coberturas como las bofedales, afloramiento rocosos y lago, donde el uso del suelo lo maneja los procesos naturales, no se han visto tan afectados en su extensión territorial.

4) En cuanto a la proyección de la distribución espacial y temporal de las clases de coberturas y los tipos de usos del suelo para el año 2040. Con base en los patrones identificados en los periodos anteriores, se espera que las coberturas de pastos y cultivos va ser la cobertura con mayor extensión territorial, también que la clase tejido urbano va ser creciendo. Este escenario indica un aumento en la fragmentación de los ecosistemas naturales y una expansión del uso del suelo orientado a la producción agrícola y la urbanización.

5) En cuanto a la proyección de las tendencias de cambios de cobertura y patrones de cambio del uso del suelo para el año 2040. Las tendencias observadas de los años 1986, 2001, 2016 y 2024 evidencian que la expansión de los usos productivos seguirá avanzando sobre las coberturas naturales. Se estima que la disminución de la clase arbustos continuará, mientras que el mosaico de pastos y cultivos, junto con el tejido urbano, experimentará un crecimiento significativo. La presión antrópica sobre el territorio seguirá marcando la dinámica de transformación del paisaje, con implicancias en la sostenibilidad ambiental y en la planificación territorial del distrito.

VI. RECOMENDACIONES

Sobre la base de las discusiones y conclusiones, se plantean las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda a la autoridades locales y regionales a diseñar estrategias de planificación territorial que prioricen el equilibrio entre las actividades humanas y la conservación de los recursos naturales. Esto incluye delimitar áreas para la protección de coberturas críticas, como coberturas de arbustos, bosques y bofedales, y promover el uso eficiente de tierras agrícolas y urbanas. Promoviendo la colaboración entre sectores gubernamentales, organizaciones civiles y comunidades locales.
- se recomienda establecer programas de restauración en áreas degradadas, particularmente en aquellas donde se ha perdido coberturas naturales. También se recomienda fomentar estudios complementarios sobre el impacto de estos cambios en la biodiversidad y los recursos hídricos del distrito.
- Establecer sistemas de monitoreo continuo mediante imágenes satelitales y SIG para actualizar periódicamente la información sobre cambios de cobertura y uso del suelo.
- Para futuras proyecciones, se recomienda incorporar una mayor variedad de factores que influyen en la dinámica territorial. Entre estos, pueden ser variables socioeconómicas, como el crecimiento poblacional y la expansión de infraestructuras, así como factores ambientales, entre otros a fines.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allca Benites, J. F. (2021). *Análisis multitemporal de la expansión urbana, del distrito de Ayacucho, mediante imágenes satelitales, en el período 1990 – 2020*, [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/73287>
- Barbieri, A., Díez, P., Macedo, G. y Guillmo, M. (2018). *USGS y Landsat. Montevideo*. <https://docplayer.es/93049038-Usgs-y-landsat-barbieri-andrea-diez-pilar-macedo-gonzalo-minutti-guillermo.html>
- Barrero M. H., Vistín G. D. , Bastidas P. H., Muñoz J. E., Zárata P. Y. & Guerra C. D. (2022). Dinámica de cambio de uso de suelo del sector Guangras en el Parque Nacional Sangay, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 10(1), 44-58. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692022000100044&lng=es&tlng=es.
- Bocco, G., Mendoza, M., & Masera, O. R. (2001). *La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán: Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. Investigaciones geográficas*, (44), 18-36. <https://doi.org/10.14350/rig.59133>
- Botkin, D. & Keller, E. (2012). *Environmental Science*. Wiley. <https://bcs.wiley.com/he-bcs/Books?action=index&itemId=047148816X&itemTypeId=BKS&bcsId=2054>
- Boza Torres, P. E., Liriano Leyva, O., Pérez Sánchez, Y., & Fonseca González, R. L. (2022). *Guía práctica para seleccionar una prueba estadística a aplicar en una investigación biomédica. Multimed*, 26(6). Epub 26 de noviembre de 2022. Recuperado en 08 de enero de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-48182022000600008&lng=es&tlng=es.
- Bravo Lopez, P. (29 de diciembre 2015). *Componentes de un GIS. Geographic Information Systems Blog*. <https://paulblgis.wordpress.com/2015/12/29/componentes-de-un-gis/>

- Breiman, L. & Ihaka, R. (1984). *Nonlinear Discriminant Analysis via Scaling and Ace*. Department of Statistics, University of California. <https://digitalassets.lib.berkeley.edu/sdtr/ucb/text/40.pdf>
- Cachay Reynaga, R. (2023). *Cambios de las coberturas y usos del suelo en la microcuenca del Río Jucusbamba, Amazonas (Perú), 1992-2052*, [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14077/3100>
- Callirgos Jiménez, N., & Quispe Carhuapoma, M. J. (2021). *Determinación de Cambios de Cobertura y de Uso del Suelo con Imágenes Satelitales, de la Microcuenca de la Quebrada Shumba- Jaén; Periodo 1998-2020* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/381>
- Camacho, A., Vargas, C., Rojas, F A., Castillo, S. y Arguello, H. (2015). *Aplicaciones y retos del sensado remoto hiperespectral en la geología colombiana*. REVISTA FACULTAD DE INGENIERÍA. 24(40). 0-17. <http://dx.doi.org/10.19053/01211129.3845>
- Castillo, S. (2014). *Corrección automática de la geometría de fotogramas capturados desde plataformas aéreas no tripuladas* [Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/10396/12214>
- Chariarse Muñiz, A. D., & Chariarse Muñiz, P. F. (2021). *Análisis multitemporal del uso de suelo y cobertura vegetal mediante el uso de herramientas SIG aplicados a la cuenca de Chuyapi -Santa Ana - La Convención – Cusco* [Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12557/4638>
- Chuvieco, E. (1990). *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid, Rialp. 429 p. <http://cursosihlla.bdh.org.ar/Sist.%20Cart.%20y%20Teledet./Bibliografia/FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf>

- Chuvieco, E. (2008). *Teledetección Ambiental*. Ariel Ciencia. https://www.google.com.pe/books/edition/Teledeteccion_ambiental/aKsNXCVCtcQC?hl=es&gbpv=1&dq=inauthor:%22Emilio+Chuvieco+Salinero%22&printsec=frontcover
- Chuvieco, E. & Huete, A. (2009). *Fundamentals of satellite remote sensing*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b18954>
- Chuvieco, E. & Moreno, M. V. (2009). *Validación de productos globales de cobertura del suelo en la España Peninsular*. Departamento de Geografía – Universidad de Alcalá. https://www.aet.org.es/revistas/revista31/Numero31_1.pdf
- Chuvieco, E. y Salas, J. (2002). *Empleo de la teledetección en el Análisis de la deforestación tropical: el caso de la reserva forestal de Ticoporo (Venezuela)*. Serie Geográfica, 10(1), 55–76. <http://hdl.handle.net/10017/1160>
- Cobos Anguisaca, J. D., Luna Romero, A. E., Barrezueta Unda, S. A., & Jaramillo Aguilar, E. E. (2021). *Análisis multitemporal de cambios de cobertura y uso del suelo: cuenca del río jubones, Ecuador*. Revista Científica Agroecosistemas, 9(1), 113-120. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/456>
- Cruz Romero, B., Téllez López, J., & Carrillo González, F. M. (2021). *Análisis de cambios en las coberturas y usos de suelo de la cuenca del río Cuale, Jalisco, México*. Documents d'anàlisi geogràfica, 67(1), 33-50. <https://doi.org/10.5565/rev/dag.554>
- Domínguez Bravo, J. (2000). *Breve introducción a la cartografía ya los sistemas de información geográfica (SIG)*. Informes Técnicos Ciemat. 943. 1-38. https://www.researchgate.net/profile/Javier-Dominguez-12/publication/237467702_Breve_Introduccion_a_la_Cartografia_y_a_los_Sistemas_de_Informacion_Geografica_SIG/links/0deec52724b3d7dcc4000000/Breve-Introduccion-a-la-Cartografia-y-a-los-Sistemas-de-Informacion-Geografica-SIG.pdf

- Duque Araque, D. G. (2014). *Variables clave de los sistemas integrados de gestión (SIG)*. Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias, 4(13), 18-32. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=215045726003>
- Environmental Systems Research Institute. (06 de setiembre del 2024). *Qué es un píxel*. Fundamentos de Imágenes y Rásteres. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/data/imagery/what-s-in-a-pixel.htm#:~:text=Un%20p%C3%ADxel%20en%20su%20forma,r%C3%A1ster%20o%20formato%20de%20imagen>
- Environmental Systems Research Institute. (2024). *Tipos de ráster de sensor de satélite*. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/data/imagery/satellite-sensor-raster-types.htm>
- Eraso Terán, O., Badia Perpinya, A. & Gisbert Traveria, M. (2022). *Google earth engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo*. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica. 29(1). 89-113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>
- Escobar Flores, R. E., & Castillo Santiago, M. Á. (2021). *Cambios en la cobertura y uso del suelo en la región del Soconusco, Chiapas*. Revista mexicana de ciencias forestales, 12(66), 46-69. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.755>
- Flores Ruiz, E., Miranda Novales., M, G., & Villasís Keever, M, Á. (2017). *El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada*. Estadística inferencial. Revista alergía México, 64(3), 364-370. <https://doi.org/10.29262/ram.v64i3.304>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). *The State of the World's Forests 2022. Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb9360en>
- Food and Agriculture Organization. 2023. *Land Cover Atlas of the Republic of South Sudan*. Second edition. Rome. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cc6216en>

- Frank, N. (2017). *Teledetección espacial, Landsat, Sentinel 2, ASTER LIT Y MODIS, Perú*. https://acolita.com/wp-content/uploads/2018/01/Teledeteccion_espacial_ArcGeek.pdf
- Friedel, M., Duval, V.S. y Benedetti, G. M. (2022). *Cobertura y uso del suelo en el sureste de la provincia de La Pampa (Argentina) durante el período 1987-2020*. Revista Huellas, Volumen 26, N° 1, Instituto de Geografía, EdUNLPam: Santa Rosa. <http://dx.doi.org/10.19137/huellas-2022-2603>
- García Sancho, A. G., Nájera González, O., Murray Núñez, R. M., & Marcelleño Flores, S. M. L. (2016). Dinámica espacio-temporal de la cobertura y uso del suelo en una cuenca hídrica. CIBA Revista Iberoamericana De Las Ciencias Biológicas Y Agropecuarias, 5(9), 29 – 42. <https://ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/42>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. y Moore, R. (2017). *Google Earth Engine: Análisis Geoespacial a Escala Planetaria para Todos*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Goward, S., Rocchio, L., Williams, D., Arvidson, T., Irons, J., Russell, C. y Johnston, S. (2017). *Landsat's Enduring Legacy: Pioneering Global Land Observations from Space*. <http://dx.doi.org/10.14358/ASPRS.1.57083.101.7>
- Gutiérrez, M. F., Rodríguez-Tapia, G., & Mas, J. F. (2016). *Análisis jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000–2008) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, 2016(90), 89–104. <https://doi.org/10.14350/rig.48600>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2010). *Leyenda Nacional de coberturas de la tierra, metodología Corine Land Cover para Colombia, Escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C., Colombia. 72 pp. <https://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>

- European Environment Agency. (1992). *Proyecto CORINE. Programa Land Cover. Informe Técnico. Comisión Europea DG XI. Madrid.*
<https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>
- Jara Chávez, J. J. (2023). *Cambios de cobertura y uso del suelo en el área de influencia de la carretera Iquitos – Nauta, Periodo 1985 – 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/19797>
- Jiménez, S. (2016). *Combinación RGB con bandas del satélite Landsat 5, 7 y 8. Hidráulica Fácil*
<https://www.hidraulicafacil.com.mx/2016/03/Com.Landsat7.html>
- Korotov, V., Logofet, D. & Loreau, M. (2001). *Sucesión in mixed boreal forest of Russia: Markov models and non-Markov effects.* Ecological Modelling. 142(1-2). 25-38. [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3800\(01\)00247-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00247-2)
- Kumar, N. (2013). *Remote Sensing: Introduction and basic concepts.* IISc Bangalore.
<https://nptel.ac.in/courses/105108077>
- Landis, J. & Koch, G. (1977). *The measurement of observer agreement for categorical data.* Biometrics. 33. 159-74.
- Leija Loredó, E. G., Valenzuela Ceballos, S. I., Valencia Castro, M., Jiménez González, G., Castañeda Gaytán, G., Reyes Hernández, H., & Mendoza Cantú, M. E. (2020). *Análisis de cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo en la región centro-norte de México. El caso de la cuenca baja del río Nazas.* Ecosistemas, 29(1), 1826. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1826>
- Leija, E. G., Pavón, N. P., Sánchez, A., & Ángeles, G., (2021). *Dinámica espacio-temporal de uso, cambio de uso y cobertura de suelo en la región centro de la Sierra Madre Oriental: implicaciones para una estrategia REDD+ (Reducción de Emisiones por la Deforestación y Degradación).* Revista cartográfica, (102), 43-68. Epub 14 de marzo de 2022.
<https://doi.org/10.35424/rcarto.i102.832>

- León Fernández, L. T. y Garavito Rincón, L. N. (2021). *Procesamiento de imágenes satelitales*. *L'esprit Ingénieur*, 11(1), 33-49.
<http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieur/article/view/2332>
- López Hernández, J. A., Astroz Cano, A. M., y Silva Parra, A. (2020). *Uso de la tierra y su influencia en la compactación del suelo en el Oriente de Colombia*. *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos*, 11(1), 34-53.
<https://doi.org/10.22579/22484817.462>
- López Pérez, J. E., & Cruz Romero, Bartolo. (2020). *Dinámica forestal y uso de suelo en las cuencas que integran al municipio Tomatlán, Jalisco*. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(58), 47-68.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i58.619>
- Lozada, E. (8 de marzo 2017). *¿Qué es un SIG?*. GEOPASIA: Blog sobre sistemas de información geográfica, tecnología y otros placeres.
<https://geopaisa.wordpress.com/2017/03/08/que-es-un-sig/>
- Lumba Huamán, E. N. (2023). *Análisis de la cobertura y usos de la tierra en el periodo 2000-2020 del distrito de Chalamarca- Chota-Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional.
<http://hdl.handle.net/20.500.14142/443>
- Martínez, G. R. (2020). *El Secreto Detrás de Una Tesis*. CREA IMAGEN S.A.C.
- Macebo Quintana, S., Ortega Pérez, E., Valentín Criado, A., Martín Ramon, B. & Martín Fernández, L. (2008). *LibroSIG: aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental*. E.T.S.I. Montes (Universidad Politécnica de Madrid).
https://oa.upm.es/1244/1/Mancebo_Quintana_SIG_2008a.pdf
- Ministerio del Ambiente, Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales, *Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático*. (2023). Avances y Resultados 2010-2022.
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4860387/Avances%20y%20Resultados%20-%20Programa%20Bosques%202011-2022.pdf>

- Ministerio del Ambiente. (2014). *Informe Final del Proyecto: Análisis de las dinámicas de cambio de cobertura de la tierra en la Comunidad Andina. Dirección General del Ordenamiento Territorial*. Lima, 78 pp. <https://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/18/2013/10/Informe-final-de-Proyecto-Dinamica-de-los-Cambios-de-la-Tierra-CAN.pdf>
- Molo X. C & Cardozo D. O. (2021). Análisis de la dinámica de las coberturas de la tierra en el este chaqueño entre 2015 y 2019. *Revista Geografica Digital de la Universidad Nacional del Nordeste de Argentina*. 18(36). <https://doi.org/10.30972/geo.18365822>
- Morales, H., Fuentes, L., Pozzi, E., Giraud, S., Sandon, L., Monayar, V., Caffaratti, Vania y Cerino, Rocio. (2022). *Mapa de cobertura y usos del suelo urbano de la ciudad de Córdoba, utilizando datos geográficos e IDE en un modelo de clasificación Random Forest*. Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba (IDECOR). Recuperado de https://obs-idecor-lib.obs.sa-argentina-1.myhuaweicloud.com/Publicaciones/Mapa_de_cobertura_y_usos_del_suelo_urbano.pdf
- Mutanga, O. & Kumar, L. (2019). *Google Earth Engine Applications*. *Remote Sensing*. 11(5). 5-91. <https://doi.org/10.3390/rs11050591>
- Nájera González, A., Carrillo González, F. M., Morales Hernández, J. C., & Nájera González, O. (2021). *Cambio de cobertura y uso de suelo en la llanura costera asociados a procesos antropogénicos: caso San Blas, Nayarit*. *Madera y bosques*, 27(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712104>
- National Aeronautics and Space Administration. (2011). *Electromagnetic Spectrum [Imagen]*. Landsat 7 Science Data Users Handbook Landsat Project Science Office at Nasa Goddard Space Flight Center in Greenbelt. USA.
- National Aeronautics and Space Administration. (2023). *ARSET-Fundamentals of remote sensing*.

<http://appliedsciences.nasa.gov/get-involved/training/english/arset-fundamentals-remote-sensing>

National Aeronautics and Space Administration. (2023). *Handbooks & Guides Landsat Project. NASA: Landsat Science*

<https://landsat.gsfc.nasa.gov/data/handbooks-guides/>

Olaya, V. (2014). *Sistemas de información geográfica*. (s/n).

<https://hdl.handle.net/11537/25452>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2020). *El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas*. Roma. pp. 39-224.

<https://doi.org/10.4060/ca8642es>

Organización de las Naciones Unidas. (1984). *Our Common Future*. World Commission on Environment and Development.

<https://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0506189>

Paredes Cruz, D. S. (2023). *Simulación geoespacial de los cambios de cobertura y uso de la tierra al año 2030 en la microcuenca Supte, distrito Rupa Rupa – Huánuco, 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2507>

Petraglia, C. y Acosta, S. (2008). *Sistema de clasificación de la cobertura de la tierra – FAO*. Especial infraestructuras de datos espaciales, semántica y desarrollo sostenible. 125. 50-53.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2567871>

Pontius Jr, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). *Detecting important categorical land changes while accounting for persistence*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101(2–3), 251–268.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>

Pucha Cofrep, F., Andreas, F., Cánovas García, Fulgencio., Oñate Valdivieso, F., Gonzales Jaramillo, V. & Pucha Cofrep, D. (2017). *Fundamentos de SIG: Aplicaciones con ArcGIS*. Ediloja Cia. Ltda.

https://books.google.es/books?id=XOIsDwAAQBAJ&dq=SIG&lr=&hl=es&source=gbs_navlinks_s

Reyes Palomino, Smith Ervin, & Cano Ccoa. Dominga Micaela. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(1), 53-64. Epub 21 de febrero de 2022. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.328>

Salamanca Córdoba, N. (2020). *Análisis multitemporal de las coberturas del uso de suelo en la microcuenca río blanco de San José, municipio de Mogotes, Santander*. Universidad Santo Tomás. <http://hdl.handle.net/11634/31311>

Scientific Committees. (1999). *Espectro electromagnético*. <https://ec.europa.eu/health/opinions/es/lamparas-bajo-consumo/glosario/def/espectro-electromagnetico.htm#:~:text=La%20luz%20visible%20%E2%80%94tambi%C3%A9n%20espectro,al%20rojo%20a%20700%20nm>.

Sierra, Y. (9 de abril de 2024). *El planeta perdió 3.7 millones de hectáreas de bosques primarios en 2023: diez campos de fútbol por minuto*. *periodismo ambiental independiente en Latinoamérica MONGABAY* <https://es.mongabay.com/2024/04/planeta-perdio-millones-bosques-primarios-en-2023/>

Solórzano, V. J., Perilla, S. G. (2022). *Cómo usar Google Earth Engine y no fallar en el intento*. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental Universidad Nacional Autónoma de México. <https://doi.org/10.22201/ciga.9786073066969e.2022>

Speranza, F. y Zerda, H. (2005). *Firmas Espectrales [Figura]. Potencialidad de los índices de vegetación para la discriminación de coberturas forestales Conference*. III Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. https://www.researchgate.net/publication/337907941_Potencialidad_de_los_indices_de_vegetacion_para_la_discriminacion_de_coberturas_forestales

Subia Tito, Y. (2020). *Análisis multitemporal de cambio de cobertura vegetal y uso de suelos en el Parque Nacional Bahuaja Sonene y su zona de*

amortiguamiento [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional.

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/14781>

Supo, J. (2024). *Metodología de la Investigación Científica*. Foreword.

Tabaco Salazar, L. P. (2023). *Cambios de cobertura boscosa y uso de suelo en la microcuena Huamanpata, provincia Rodríguez de Mendoza, Amazonas (1990 – 2020)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14077/3658>

Tempfli, K., Huurneman, G., Bakker, W., Janssen, L., Feringa, W., Gieske, A., Grabmaier, K., Hecker, C., Horn, J., Kerle, N., Meer, F., Parodi, G., Pohl, C., Reeves, C., Ruitenbeek, F., Schetselaar, E., Weir, M., Westinga, E. y Woldai, T. (2009). *Principles of remote sensing : an introductory textbook*. University of Twente Faculty of Geo-Information and Earth Observation (ITC). https://www.researchgate.net/publication/233793398_Principles_of_remote_sensing_an_introduitory_textbook

Valqui Reina, S. V. (2023). *Análisis del cambio de cobertura y uso del suelo del distrito de Corosha, Amazonas durante el periodo 2002-2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14077/3730>

Vargas Sanabria, D. y Campos Vargas, C. (2018). *Sistema multi-algoritmo para la clasificación de coberturas de la tierra en el bosque seco tropical del Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica*. Revista Tecnología en Marcha. 31(1). 58-69. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v31i1.3497>

Yupanqui Vargas, W. J. (2021). *Dinámica de cobertura y uso de tierras para sostenibilidad de tres comunidades Asháninkas, Río Negro* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/7237>

Zhao, Q., Yu, L., Li, X., Peng, D., Zhang, Y., & Gong, P. (2021). *Progress and trends in the application of Google Earth and Google Earth Engine*. *Remote Sensing*. 13(18). 37-78. <https://doi.org/10.3390/rs13183778>

ANEXOS

Anexo 1.

Matriz de Consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	VARIABLES	DIMENSION	INDICADORES	DISEÑO METODOLOGICO
Problema General	Objetivo General				
¿Cómo es la dinámica de los cambios de cobertura y el uso del suelo en el distrito de Huanta durante el periodo de 1986 a 2040?	Analizar la dinámica de los cambios de cobertura y uso del suelo en el distrito de Huanta, durante el periodo de 1986 - 2024 identificando sus tendencias de cambio y proyectando posibles escenarios al año 2040.	Variable 1: Cobertura	Distribución espacial y temporal de la cobertura	Ubicación y extensión de cada cobertura en los años de estudio (1986, 2001, 2016, 2024). Artificiales, Agrícolas, Bosques y Áreas Naturales, Húmedas y Cuerpos de Agua.	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN: La presente investigación es de Tipo Básica,</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACION: La investigación es de nivel descriptivo</p> <p>POBLACIÓN Y MUESTRA: La población de la presente investigación está compuesto por todas las coberturas existentes dentro de la superficie territorial del distrito de Huanta que abarca una extensión de 16,470 hectáreas. Por la naturaleza de esta investigación, la muestra es igual a la población</p> <p>TÉCNICA Y RECOLECCIÓN DE DATOS: La técnica utilizada es compilación de imágenes satelitales de los años estudiados y la clasificación supervisada para procesar la imágenes recolectadas,</p> <p>INSTRUMENTOS: Los instrumentos utilizados en la recolección de datos para ambas variables fue mensurado a través de los instrumentos informáticos como son el Google Earth Engine y ArcgisPro</p>
			Tendencias de cambio	Transformaciones en la cobertura y proyección al 2040.	
Problemas específicos	Objetivos Específicos	Variable 2: Uso del Suelo	Tipología del uso de suelo	Categorización del uso del suelo según CORINE Land Cover: Artificializadas, agrícolas, Bosques y Áreas Naturales, Húmedas y Cuerpos de Agua.	
¿Cómo es la distribución espacial y temporal de las coberturas y los tipos de uso del suelo en los años 1986, 2001, 2016 y 2024?	Caracterizar la distribución espacial y temporal de las clases de coberturas y los tipos de uso del suelo, en los años 1986, 2001, 2016 y 2024.				
¿Qué tendencias tendrán los cambio cobertura y patrones de cambio de uso del suelo en el distrito de Huanta?	Identificar las tendencias de cambios cobertura y patrones de cambio del uso del suelo.				
¿Cómo se proyectan la distribución espacial t temporal de las coberturas y los tipos de uso del suelo para el año 2040?	Proyectar la distribución espacial y temporal de las clases de coberturas y los tipos de usos del suelo para el año 2040.				
¿Cómo son las tendencias que tendrán los cambio cobertura y patrones de cambio de uso del suelo en el distrito de Huanta para el año 2040?	Proyectar las posibles tendencias de cambios de cobertura y patrones de cambio del uso del suelo para el año 2040.		Patrones de cambio	Transformaciones en los usos del suelo a lo largo del tiempo.	

Anexo 2.

Coordenadas de puntos de validación para el 2024

N°	ESTE	NORTE	Altitud	Validación
1	581699	8569195	2625.91	Urbano
2	581932	8568926	2641.31	Urbano
3	582084	8568756	2642.11	Urbano
4	582509	8568270	2649.81	Urbano
5	581396	8569338	2639.4	Urbano
6	581185	8569416	2636.1	Urbano
7	581056	8569611	2635.2	Urbano
8	583586	8567498	2779.63	Arbustal
9	584151	8567264	2829.93	Pastos y Cultivos
10	584753	8566703	2928.16	Pastos y Cultivos
11	584753	8566703	2928.16	Arbustal
12	585290	8567018	2988.06	Bosque
13	584966	8567099	2996.26	Pajonal
14	584923	8567225	2993.86	Bosque
15	585140	8567654	3047.26	Bosque
16	585137	8567654	2631	Pastos y Cultivos
17	585138	8567657	2631	Arbustal
18	585788	8567237	3119.9	Pastos y Cultivos
19	586078	8567149	3138.9	Pastos y Cultivos
20	586033	8567225	3155.9	Bosque
21	585896	8567375	3165.7	Pastos y Cultivos
22	585947	8567525	3175.5	Pastos y Cultivos
23	586190	8567605	3201.14	Pastos y Cultivos
24	586546	8567225	3250.94	Pastos y Cultivos
25	586628	8567186	3258.84	Pastos y Cultivos
26	586797	8567281	3205.44	Pastos y Cultivos
27	586663	8567430	3256.65	Pastos y Cultivos
28	587110	8567447	3366.55	Pajonal
29	587155	8567732	3434.08	Arbustal
30	587236	8567950	3488.08	Arbustal
31	586889	8567979	3544.68	Pajonal
32	587335	8568616	3628.08	Bosque
33	587332	8568612	3627.18	Arbustal
34	587316	8568591	3621.52	Bosque
35	587315	8568593	3623.12	Bosque
36	587194	8568888	3657.72	Bosque
37	586876	8569206	3700.32	Pastos y Cultivos
38	588402	8569785	3806.69	Arbustal
39	588397	8569787	3844.79	Bosque
40	588397	8569797	3844.79	Arbustal
41	589380	8570812	3872.07	A. Rocas
42	589277	8570871	3888.17	A. Rocas

43	589747	8571819	3941.71	Pajonal
44	589582	8572429	3927.51	Bosque
45	589587	8572426	3925.22	A. Rocas
46	589763	8576003	4297.24	A. Rocas
47	589799	8575983	4288.14	A. Rocas
48	589803	8575980	4286.84	A. Rocas
49	589802	8575981	4284.74	A. Rocas
50	589803	8575985	4284.64	Pajonal
51	589718	8576003	4277.24	Lago
52	589589	8576341	4305.74	A. Rocas
53	589568	8576100	4274.56	Lago
54	590359	8575955	4082.32	Lago
55	590371	8575136	4075.14	Lago
56	593056	8573333	4222.18	Lago
57	591555	8572173	4078.32	Lago
58	592043	8571255	4285.13	Lago
59	590766	8570576	4288.74	Lago
60	590063	8575340	4139.75	Bosque
61	589918	8575491	4221.57	Pajonal
62	587211	8581596	4068.35	Lago
63	586817	8581033	4002.42	Bofedal
64	586637	8580135	3976.12	Bofedal
65	587882	8579994	4075.84	Bofedal
66	587408	8579570	4061.23	Bofedal
67	586420	8579370	4074.23	Bofedal
68	589453	8577019	4501.32	A. Rocas
69	590019	8576600	4439.32	A. Rocas
70	587544	8577125	4077.12	Bofedal
71	588809	8576245	4530.12	A. Rocas
72	589311	8575990	4431.21	Pajonal
73	591762	8574830	4145.21	Bofedal
74	590047	8574177	4061.74	Bofedal
75	589669	8572715	3979.37	Bosque
76	577747	8564930	2388.21	Urbano
77	577608	8565648	2412.36	Arbustal
78	576970	8565402	2317.57	Pastos y Cultivos
79	576793	8566341	2363.41	T. Desnudas
80	578846	8565893	2428.12	A. Artificial
81	579712	8565448	2411.53	Pastos y Cultivos
82	580685	8565642	2513.03	Urbano
83	581380	8565470	2552.36	Arbustal
84	581157	8566338	2511.36	Pastos y Cultivos
85	579894	8566229	2486.47	Arbustal
86	579637	8566853	2457.74	Urbano
87	578809	8566420	2426.56	Arbustal
88	578116	8566193	2455.36	Arbustal
89	577510	8566742	2430.36	Arbustal

90	577073	8567459	2389.12	Arbustal
91	578209	8567251	2368.24	Pastos y Cultivos
92	580526	8567335	2487.36	Pastos y Cultivos
93	581086	8567741	2543.67	Pastos y Cultivos
94	581156	8567954	2556.36	Urbano
95	581116	8567031	2532.45	Pastos y Cultivos
96	581797	8567322	2588.41	Pastos y Cultivos
97	582250	8566934	2708.14	Arbustal
98	582802	8566555	2798.36	Arbustal
99	583412	8566753	2808.36	Arbustal
100	584491	8566768	2893.74	Urbano
101	585080	8566848	2994.36	Pastos y Cultivos
102	585192	8567414	3079.36	Pastos y Cultivos
103	583929	8567662	2814.39	Pastos y Cultivos
104	583506	8568020	2753.92	Urbano
105	582699	8568020	2679.14	Urbano
106	582172	8568629	2633.74	Urbano
107	581269	8569667	2639.14	Urbano
108	579205	8569143	2480.36	Urbano
109	577212	8569319	2330.75	Pastos y Cultivos
110	577815	8568550	2370.63	Pastos y Cultivos
111	578410	8570175	2438.12	A. Artificial
112	578303	8570419	2441.65	Arbustal
113	579188	8571102	2519.25	A. Artificial
114	579970	8570536	2581.16	Urbano
115	580366	8569348	2561.24	Urbano
116	580258	8571322	2603.12	Urbano
117	581254	8570478	2676.36	Urbano
118	580785	8572375	2713.15	Urbano
119	580478	8572347	2658.12	Pastos y Cultivos
120	581770	8571143	2766.12	Urbano
121	582188	8569965	2704.36	Urbano
122	582860	8570683	2884.12	Pastos y Cultivos
123	583985	8571132	3366.12	Bosque
124	583132	8571373	2991.13	Bosque
125	582180	8572056	3000.75	Pastos y Cultivos
126	583508	8572083	3273.41	Bosque
127	584196	8571718	3479.12	Bosque
128	582525	8572988	3303.12	Urbano
129	587234	8568863	3666.12	Bosque
130	586911	8568844	3667.18	Bosque
131	587063	8568823	3666.11	Bosque
132	586815	8567445	3370.12	Pastos y Cultivos
133	587250	8569465	3680.12	Arbustal
134	588867	8570316	3882.08	Arbustal
135	589050	8571188	3909.12	Bosque
136	589459	8571909	3884.62	Bosque

Anexo 3.

Panel fotográfico de la validación in situ del mapa de cobertura y uso de suelo 2024

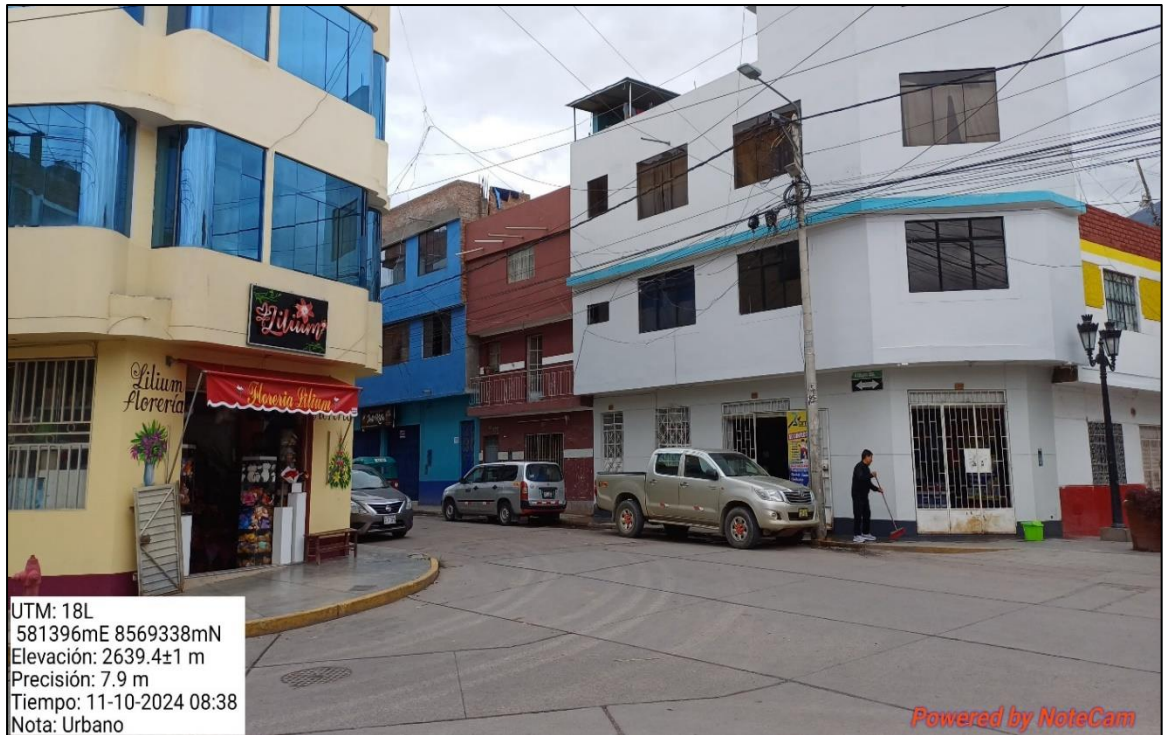


Figura 26. Cobertura de clase Tejido Urbano (TU), Ciudad de Huanta



Figura 27. Cobertura de Pastos y Cultivos (Pc)



Figura 28. Cobertura de clase Bosque (Bo)



Figura 29. Cobertura de clase Pajonal (PA)



Figura 30. Cobertura de clase Arbustal (AR)

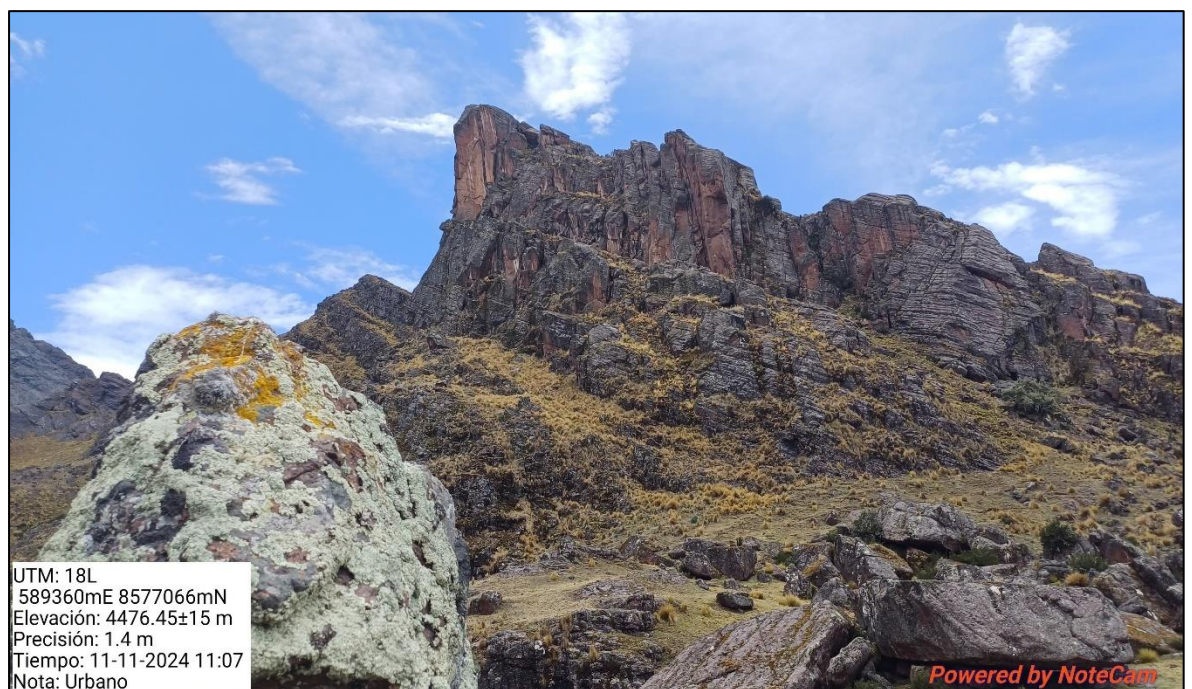


Figura 31. Cobertura de clase Afloramiento Rocosos (RO)

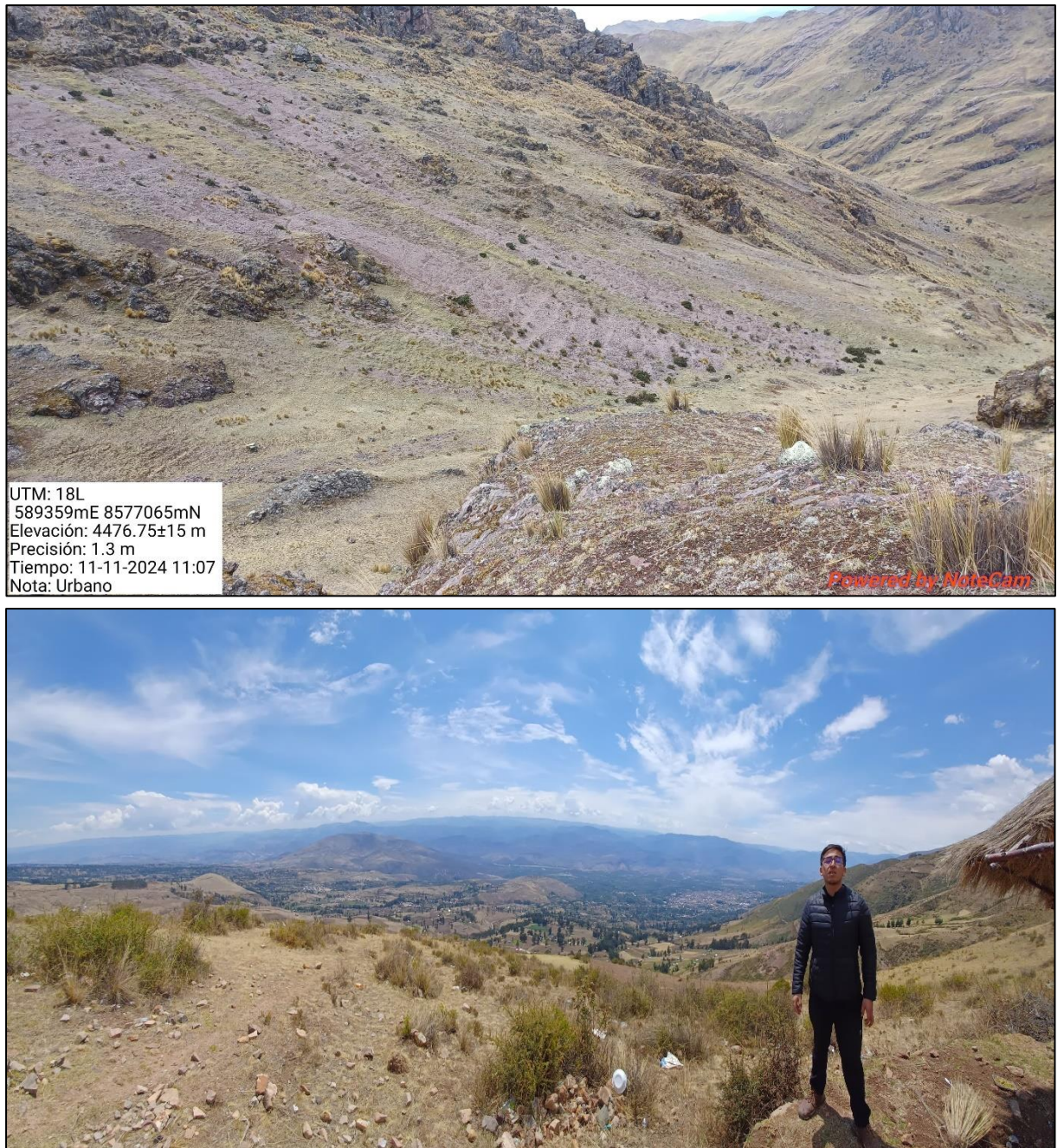


Figura 32. Cobertura de clase Tierras Desnudas (TD)

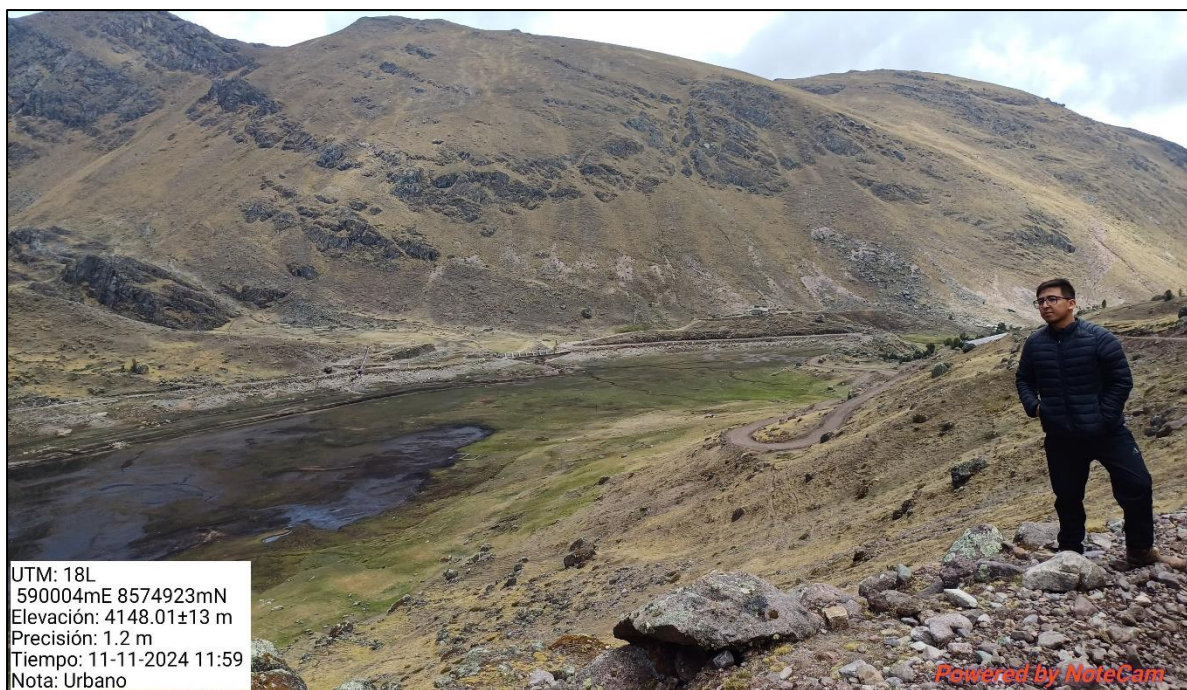
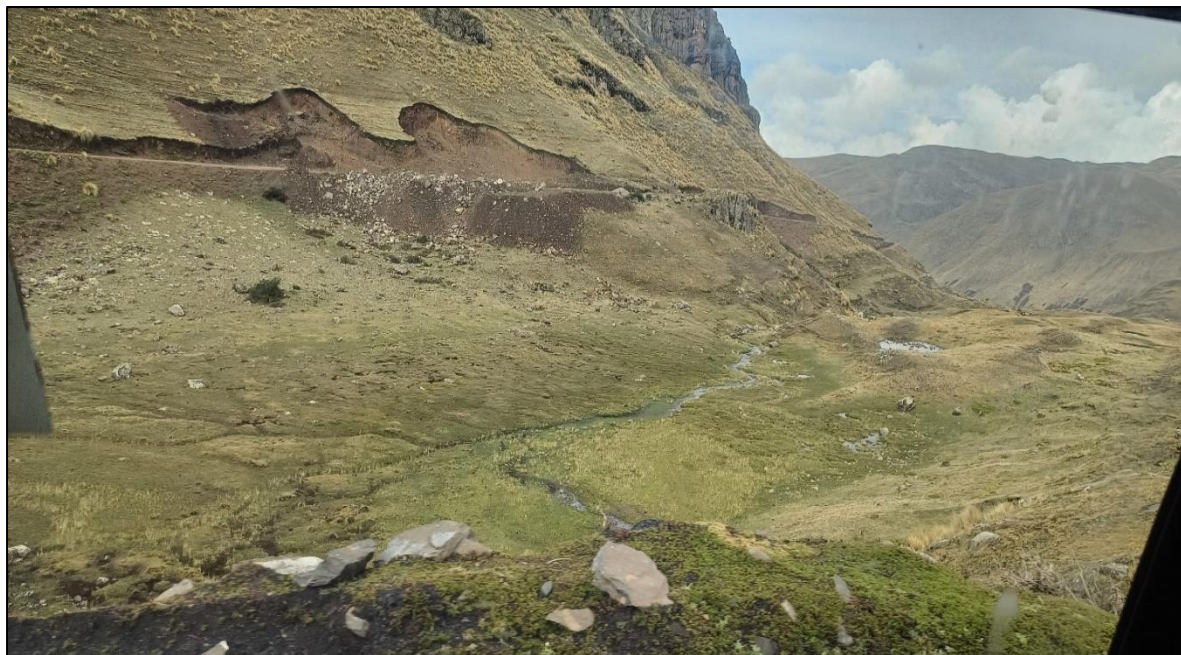


Figura 33. Cobertura de clase Bofedal (BF)

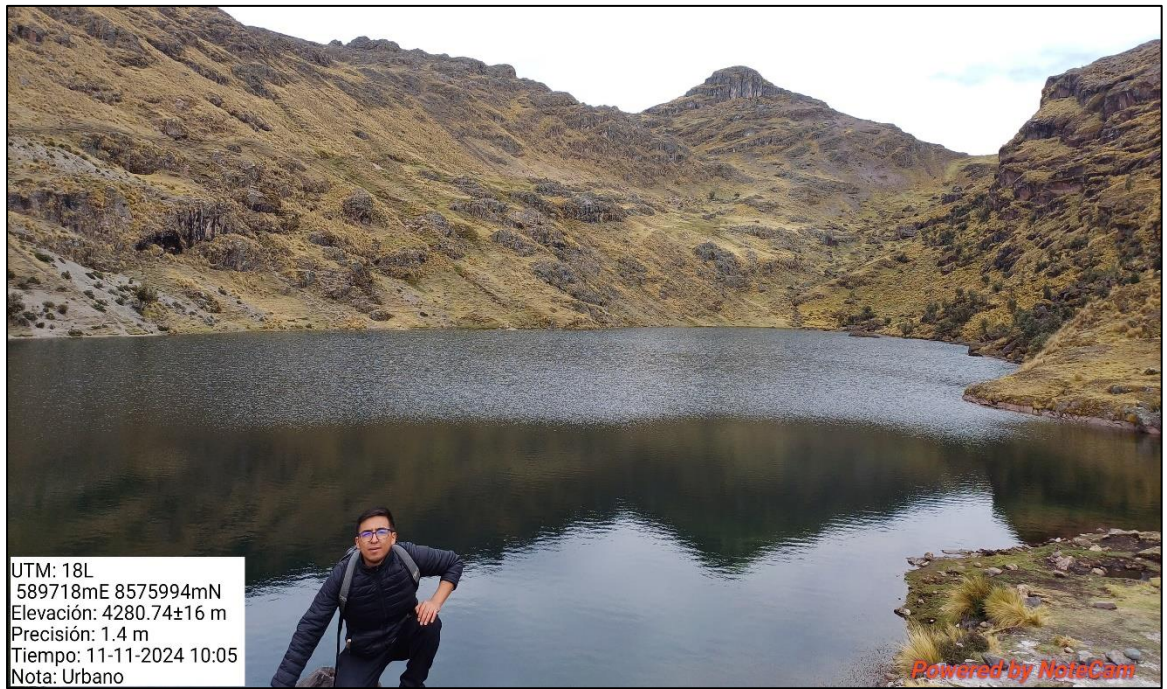


Figura 34.Cobertura de clase Lago (LA)

Anexo 4.

Código JavaScript utilizado en la plataforma Google Earth Engine

```

Donwload86 *   Get Link   Save   Run   Reset   Apps   ⚙️
  Imports (1 entry)
  ▶ var table: Table projects/ee-letter15471/assets/Huanta
1 // PROCESAMIENTO
2 function download(year){
3
4 //CODIGO DEL SATELITE
5 var landsat = ee.ImageCollection("LANDSAT/LT05/C02/T1_TOA")
6 .filterBounds(table)
7
8 // menos del 10% de nubes
9 .filter(ee.Filter.lt('CLOUD_COVER', 10));
10
11 // 4. Seleccionar la mejor imagen por menos nubes
12 var imagen = coleccion.sort('CLOUD_COVER').first();
13
14 //RANGO DE BUSQUEDA
15 .filterDate(year+'-01-01',year+'-03-30');
16 var image = ee.Image(landsat.mean());
17
18 //BANDAS ESPECTRALES DEL SATELITE
19 var bands = ['B3', 'B4', 'B5', 'B7'];
20
21 // CENTRATR Y MOSTRAR LA IMAGEN
22 var clipped = image.clip(table)
23
24 //EXPORTAR LA IMAGEN A GOOGLE DRIVE
25 Export.image.toDrive({
26   image: clipped.select(bands),
27   description: 'landsat_' + year + '_area',
28   crs: 'EPSG:4326',
29   region: table,
30   scale: 30
31 });
32
33 //VISUALIZACION DE LA IMAGEN SATELITAL
34 Map.addLayer(clipped, {min:0,max:0.3,bands:['B3','B2','B1'],opacity
35 }
36 for (var year=1986; year<=1996;year++)
37 {
38   download(year);
39 }
40 Map.centerObject(table,12)

```

Anexo 5.

Procesamiento de imágenes satelitales en el Software ArcGispro

